

서울 일부 지역 고령자에서 휘발성유기화합물과 포름알데히드가 심박동변이에 미치는 영향

서울대학교 의과대학 예방의학교실, 서울대학교 보건대학원 보건학과¹⁾,
서울대학교 의학연구원 환경의학연구소²⁾, 고려대학교 보건과학대학 환경보건학과³⁾

서정철 · 강모열 · 조수현 · 임연희¹⁾ · 김진희²⁾ · 손종렬³⁾ · 홍윤철

— Abstract —

Effects of Volatile Organic Compounds, and Formaldehyde on Heart Rate Variability among Elderly People in Seoul

Jeong-Cheol Seo, Mo-Yeol Kang, Soo-Hun Cho, Youn-Hee Lim¹⁾
Jin-Hee Kim²⁾, Jong-Ryeul Sohn³⁾, Yun-Chul Hong

*Department of Preventive Medicine, Seoul National University College of Medicine,
Department of Biostatistics and Epidemiology, Graduate School of Public Health, Seoul National University¹⁾,
Institute of Environmental Medicine, Seoul National University Medical Research Center²⁾,
Department of Environmental Health, College of Health Sciences, Korea University³⁾*

Objectives: The purpose of the present study was to investigate the effects of volatile organic compounds, and formaldehyde on heart rate variability among elderly people who are vulnerable to ambient pollution.

Methods: From May to August of 2009, 57 subjects older than 60 years were recruited in this study. Indoor air pollutants (volatile organic compounds and formaldehyde) were measured by a personal passive sampler. Heart rate variability (HRV) was measured in the sitting position for five minutes and assessed by time-domain and frequency-domain.

Results: Multiple linear regression analysis showed significantly less low-frequency (LF) and high-frequency (HF) associated with elevated benzene levels. Exposure to toluene was associated with decreases in the Standard deviation of the NN intervals (SDNN) and LF. SDNN and LF were negatively associated with the increment of ethylbenzene levels.

Conclusions: An adverse effect on cardiovascular function caused by volatile organic compounds was observed among the elderly people of Seoul even though indoor air pollutant levels were lower than the yearly average guideline for indoor air quality in Korea.

Key words: Heart rate, Indoor air, Volatile organic compounds

서 론

대기 오염이 건강에 미치는 영향은 일련의 재해성 사고

를 통해서 대중에게 알려졌고, 이후 대기 오염과 건강에 관한 많은 연구가 수행되었다¹⁾. 이에 비해 주택이나 다중 이용시설과 같은 실내의 공기질에 대한 관심은 상대적으로

〈접수일: 2011년 4월 29일, 1차 수정일: 2011년 6월 14일, 채택일: 2011년 6월 27일〉

교신저자: 홍 윤 철 (Tel: 02-740-8394) E-mail: ychong1@snu.ac.kr

*이 연구는 환경부의 연구비 지원을 받아 이루어졌습니다.

로 적었다. 그러나 1970년대 이후 열효율 향상을 위한 건물의 밀폐화, 내·외부 공기의 환기 비율 저하, 합성 물질의 빈번한 사용 등과 같은 이유로 실내 공기질이 급격히 악화되었고²⁾, 이로 인한 건강영향이 대중에게 알려지면서 실내 공기질에 대한 관심이 증대되고 있다.

실제로 산업화와 도시화로 인해서 실내생활 위주의 생활 패턴이 주를 이루면서 실내 공기질의 중요성은 커졌다. 1994년에 수행된 생활 패턴에 관한 연구에서 미국인은 하루의 약 95%의 시간을 실내에서 생활한다고 보고하였다³⁾. 이와 유사한 국내 연구에서 한국인들은 하루 중 실내거주 시간이 20.3시간, 교통수단(자동차, 버스, 지하철 등)까지 포함한 실내거주시간은 23.3시간으로 하루 중 약 97%의 시간을 실내에서 보내고 있다고 보고하였다⁴⁾. 또한 실내 공기 오염물질의 농도가 실외보다 높으며⁵⁾, 실내 공기 오염물질이 실외 공기 오염물질보다 폐에 전달 될 확률이 훨씬 높은 것으로 알려졌다⁶⁾. 국제보건기구는 실내 공기 오염에 의한 사망자가 실외 공기 오염으로 인한 사망자 수의 약 50%에 이르는 것으로 추산하고 있다⁷⁾.

대표적인 실내 공기 오염물질인 휘발성유기화합물, 포름알데히드의 건강영향은 단순한 눈, 피부, 호흡기 점막에 대한 자극증상에서부터 신경계 독성까지 다양하며⁸⁾, 최근 역학적 연구에서는 심혈관계 사망을 증가시킨다는 보고도 있다⁹⁾.

심박동변이는 심장 박동수가 변동하는 정도를 정량화한 것으로 자율신경계의 기능을 평가하는 유용한 방법으로 알려져 있다^{10,11)}. 임상적으로 심박동변이 검사는 심근경색 후 사망을 예측하는데 사용되고 있으며, 심부전 및 뇌경색과 같은 심혈관계 질환 환자들의 자율신경계 평가와 예후 평가 등에도 사용되고 있다^{12,13)}. 또한 환경의학적인 측면에서 심박동변이 검사를 통하여 대기 오염물질이 심혈관의 자율신경계에 미치는 영향을 구명하는 연구들이 수행되었다¹⁴⁾. 그러나 이전의 연구는 실외 공기 오염물질의 건강영향 혹은 직업적 고노출군에 한정되어 있었다. 본 연구는 기존 연구 성과를 바탕으로 환경 오염물질에 취약한 인구 집단인 노령 인구를 대상으로 대표적인 실내 공기 오염물질인 휘발성유기화합물과 포름알데히드가 심박동변이에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수행되었다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

2009년 5월과 8월에 서울시 OO구 사회복지관에 방문한 60세 이상의 고령자 411명을 대상으로 선정하였다. 이들에게 연구의 취지와 목적에 대한 안내문을 배부하였고, 이들 중 개인별 환경오염노출 측정에 동의한 57명을

최종 연구대상자로 선정하였다. 설문항목으로는 기본적인 인적사항(연령, 성별 등), 생활습관(흡연력, 음주력, 운동 정도), 병력(질병 과거력, 가족력) 등에 관한 정보를 수집하였다. 건강영향을 보기 위하여 신체 측정, 혈압 측정, 심전도 검사, 혈액 검사(혈당, 콜레스테롤), 소변 검사(코티닌) 등을 수행하였다.

2. 연구 방법

1) 노출 측정

대표적인 실내 공기 오염물질인 휘발성유기화합물, 포름알데히드에 대한 개인 노출을 평가하기 위해 대상자의 호흡기 반경 30 cm 내에 휘발성유기화합물과 포름알데히드의 passive sampler을 부착한 후 휘발성유기화합물은 10일, 포름알데히드는 7일 동안 개인별 측정을 실시하였다. 개인별 노출 측정은 봄철(2009년 5월)에 26명, 여름철(2009년 8월)에 31명을 대상으로 실시하였다. passive sampling 방법은 자연확산과 막투과의 원리를 토대로 동력을 사용하지 않아 시료 채취가 편리하여, 미국과 영국 및 일본 등에서 대기 오염물질의 측정에 널리 사용되고 있다. 또한 국내의 경우에도 일반 대기 환경 및 작업환경 측정에 사용되고 있다¹⁵⁾. 휘발성유기화합물은 VOC-SD passive sampler (supelco, USA), 포름알데히드는 DSD-DNPH 카트리지(supelco, USA)를 사용하였다. Passive sampler에 시료가 포집되는 유량은 25℃일 때 VOC-SD passive sampler는 47.64 mL/min, DSD-DNPH 카트리지는 71.9 mL/min로 노출시간을 환산하여 노출농도를 계산하였다.

2) 심박동변이 측정

심박동변이는 SA-3300(Medi-core, Seoul, Korea)을 이용하여 개별 노출 측정이 마무리된 후에 측정하였다. 참여자는 검사 전에 커피(카페인), 흡연, 약물 섭취를 제한한 후에, 조용하고 편안한 상태에서 양측 손목과 좌측 발목에 전극을 부착시켜 5분간 측정하였다. 심박동변이는 일중 변화를 보이므로, 이를 최소화하기 위하여 일정한 시간에(오전 10시에서 12시 사이) 측정하였다.

심박동변이 분석은 일반적으로 시간범위 분석(time domain analysis)과 주파수범위 분석(frequency domain analysis)으로 나뉜다¹⁶⁾. 시간범위 분석은 전체 RR 간격의 표준편차(standard deviation of the NN intervals, 이하 SDNN)와 인접한 RR 간격의 차이를 제곱한 값의 평균 제곱근(square root of the mean squared differences of successive NN intervals, 이하 RMSSD)을 측정하였다. 주파수범위 분석은 동성 심박 사이의 RR 간격의 변화를 파형별로 분석하여

High frequency(0.15~0.4 Hz, 이하 HF), Low frequency(0.04~0.15 Hz, 이하 LF)를 측정하였다. SDNN은 심박동의 변화가 얼마나 되는지 가늠할 수 있는 지표이고, RMSSD는 심장의 부교감신경계의 활동을 평가할 수 있는 지표이다. HF는 부교감신경계의 활동에 대한 지표로 사용되고, LF는 교감신경계의 활동을 반영한다¹⁷⁾.

3) 통계 분석

대상자의 일반적인 특성, 혈액 검사, 소변 검사에 대하여 기술 통계적인 분석을 시행하였다. 휘발성유기화합물, 포름알데히드와 심박동변이 지표의 값이 우측으로 편향되어 있어 자연로그를 취하여 변환하였다. 휘발성유기화합물 및 포름알데히드와 심박동변이 지표와의 관계를 보기 위해서, 기존 연구에서 심박동변이에 영향을 준다고 알려진 연령, 성별, 질병과거력, 체질량지수, 요중 코티닌¹⁸⁾, 혈압, 혈당, 계절변이, 미세먼지¹⁴⁾를 보정하여 다중회귀 분석을 시행하였다. 통계분석은 SAS 9.2 통계 프로그램을 이용하여 수행하였다.

결 과

연구 대상자는 총 57 명으로, 평균 연령은 69.16세였고 60대가 34명(59.7%), 70대가 23명(40.3%)이었다. 성별 분포는 여성이 44명(77.2%), 남성이 13명(22.8%)이었다. 체질량지수는 정상군(18.5≤~<25)이 29명으로 가장 많았으며, 비만군(≥25)이 27명(47.4%), 저체중군(<18.5)이 1명(1.7%)이었다. 생활습관 면에서는 비흡연자가 55명(96.5%)으로 대부분을 차지하였으며, 운동은 일주일에 1회 이상 한다는 대상자가 36명(63%)으로 하지 않는 사람 21명(36.8%)보다 많았다(Table 1).

Table 2는 개인별 실내 공기 오염물질 노출량을 제시하고 있다. 총휘발성유기화합물의 농도는 172 µg/m³로 나타났다. 개별 휘발성유기화합물 중 톨루엔이 51.0 µg/m³으로 가장 높았고, m/p-자일렌(6.8 µg/m³), 에틸벤젠(6.3 µg/m³), o-자일렌(4.1 µg/m³), 벤젠(3.8 µg/m³) 순이었다. 포름알데히드는 23.1 µg/m³으로 측정되었다.

g/m³) 순이었다. 포름알데히드는 23.1 µg/m³으로 측정되었다.

전체 대상자를 대상으로 한 혈당의 평균은 95.66 mg/dl 였으며, 총콜레스테롤, HDL 콜레스테롤, LDL 콜레스테롤과 중성지방은 각각 147.1 mg/dl, 52.4 mg/dl, 106.5 mg/dl 그리고 147.1 mg/dl 로 측정되었다. 혈압의 평균은 수축기 및 이완기 혈압이 128.5 mmHg와 74.88 mmHg이었다. 요중 코티닌의 평균은 103.2 µg/g cre 이었으며, 심박동변이 지표들의 평균값은 SDNN 31.05 msec, RMSSD 27.49 msec, LF 208.87 msec², HF 192.76 msec² 이었다(Table 3).

실내 공기 오염물질이 심박동변이에 미치는 영향을 확인하기 위해서 연령, 성별, 질병과거력, 체질량지수, 요중 코티닌, 혈압, 혈당, 계절변이, 미세먼지를 보정하여 다중회귀 분석을 시행하였다(Table 4). 휘발성유기화합물 중 벤젠에 대한 노출이 증가할수록 LF (coefficient=-1.2456, p-value=0.023), HF (coefficient=-1.440, p-value=0.022)가 유의하게 감소하였다. 톨루엔에 대한 노출이 증가함에 따라 SDNN (coefficient=-0.2706, p-value=0.012), LF (coefficient=-0.7218, p-value=0.008)가 유의하게 감소하였다. 에틸벤젠에서는 SDNN (coefficient=-0.2748, p-value=0.023), LF (coefficient=-0.6904, p-

Table 1. General characteristics of subjects (N=57)

Variables	N	%	
Age (years)	60-69	34	59.7
	70-79	23	40.3
Sex	Male	13	22.8
	Female	44	77.2
Body mass index (kg/m ²)	<18.5	1	1.7
	18.5≤-<25	29	50.9
	≥25	27	47.4
Alcohol drinking	Drinker	15	26.3
	Non-drinker	42	73.7
Smoking status	Current smoker	2	3.5
	Non-smoker	55	96.5
Exercise (frequency/week)	None	21	36.8
	≥1	36	63.2

Table 2. Summary statistics for the indoor air pollution exposure in personal sampler

	Median	Mean	SD*	GM†	Min	Max
TVOC [‡] (µg/m ³)	159.6	247.4	267.4	172.0	23.9	1384.7
Benzene (µg/m ³)	3.7	4.1	1.5	3.8	1.9	7.8
Toluene (µg/m ³)	43.2	76.5	89.4	51.0	8.6	439.4
Ethylbenzene (µg/m ³)	5.1	8.4	7.9	6.3	1.1	35.5
o-Xylene (µg/m ³)	3.9	5.4	4.4	4.1	1.0	23.7
m/p-Xylene (µg/m ³)	6.6	8.9	8.4	6.8	0.8	53.5
Formaldehyde (µg/m ³)	25.2	29.8	22.4	23.1	2.0	130.5

* standard deviation, † geometric mean, ‡ total volatile organic compounds.

value=0.024)가 유의하게 감소되는 것이 관찰되었다. 총 휘발성유기화합물, 자이렌, 포름알데히드는 심박동변이 지

Table 3. Summary statistics of the cardiovascular risk factors and the parameter of heart rate variability

	Mean	SD*
Glucose (mg/dl)	95.66	12.39
Total cholesterol (mg/dl)	187.9	36.44
Triglyceride (mg/dl)	147.1	80.28
HDL cholesterol (mg/dl)	52.43	14.18
LDL cholesterol (mg/dl)	106.5	36.05
SBP [†] (mmHg)	128.5	15.74
DBP [‡] (mmHg)	74.88	9.485
Cotinine ($\mu\text{g/g cre}$)	103.20	907.88
HRV parameters		
SDNN [§] (msec)	31.05	20.85
RMSSD (msec)	27.49	25.40
LF [¶] (msec ²)	208.87	361.26
HF ^{**} (msec ²)	192.76	357.30

* standard deviation, [†] systolic blood pressure, [‡] diastolic blood pressure, [§] standard deviation of the NN intervals, ^{||} square root of the mean squared differences of successive NN intervals, [¶] low frequency, ^{**} high frequency.

표와의 유의한 관계가 관찰되지 않았다.

Table 5는 휘발성유기화합물의 농도가 사분위수 범위 (interquartile range) 변화할 때 심박동변이량을 제시하고 있다. 벤젠의 농도가 사분위수 범위만큼 증가했을 때, LF와 HF는 각각 35.0%, 39.2% 감소하였고, 톨루엔의 경우 SDNN과 LF가 26.9%, 56.7% 감소하였다. 또한 에틸벤젠의 농도가 사분위수 범위만큼 증가 시, SDNN과 LF가 각각 21.9%, 46.3% 감소하였다. 그림 1은 휘발성유기화합물과 심박동변이 지표들 간의 회귀 계수를 보여준다. 각각의 모든 지표들이 통계적으로 유의하지는 않았으나, 전체적인 경향은 휘발성유기화합물의 증가에 따라서 심박동변이 지표의 일관성 있는 감소 소견이 관찰되었다.

고찰

우리는 하루 중 대부분의 시간을 실내에서 보내기 때문에 실내 공기질은 건강에 매우 중요한 영향을 미친다. 지난 수십 년 동안, 실내외 오염물질의 차이, 실내 공기 오염물질의 확인, 실내 공기 오염물질의 건강영향에 관한 많은 연구들이 수행되었다. 그러나 대부분의 연구는 특정

Table 4. Regression coefficients of indoor air pollutants to heart rate variability parameters in multiple linear analysis

	log (TVOC)	log (benzene)	log (toluene)	log (ethyl benzene)	log (o-xylene)	log (m/p- xylene)	log (formaldehyde)
log (SDNN)	-0.0924	-0.4054*	-0.2706 [†]	-0.2748 [†]	-0.0638	-0.1227	0.0608
log (RMSSD)	-0.1037	-0.5678*	-0.2670*	-0.2446	-0.0836	-0.1331	0.1936
log (LF)	-0.4741*	-1.2456 [†]	-0.7218 [†]	-0.6904 [†]	-0.2039	-0.4647	0.0180
log (HF)	-0.1733	-1.4400 [†]	-0.6083*	-0.5920*	-0.2049	-0.5195	0.5840

* p<0.1, [†] p<0.05, [‡] p<0.01, log (SDNN): log transformation of the standard deviation of the NN intervals, log (RMSSD): log transformation of square root of the mean squared differences of successive NN intervals, log (LF): log transformation of the low frequency component, log (HF): log transformation of the high frequency component, log (TVOC): log transformation of the total volatile organic compounds, log (benzene): log transformation of the benzene, log (toluene): log transformation of the toluene, log (ethylbenzene): log transformation of the ethylbenzene, log (o-xylene): log transformation of the o-xylene, log (m/p-xylene): log transformation of the m/p-xylene.

Regression coefficient β and p value adjusted for age, sex, past medical history, body mass index, urinary cotinine, blood pressure, blood glucose, seasonal variation, particulate matter.

Table 5. Percentage changes in 5 min heart rate variability indices resulting from interquartile range changes in indoor air pollutants

	TVOC	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	o-Xylene	m/p-Xylene	Formaldehyde
SDNN(%)	-9.15	-13.07*	-26.91 [†]	-21.94 [†]	-7.92	-9.10	4.82
RMSSD(%)	-10.21	-17.81*	-26.60*	-19.78	-10.25	-9.83	16.17
LF(%)	-38.89*	-34.97 [†]	-56.66 [†]	-46.32 [†]	-23.19	-30.33	1.40
HF(%)	-16.48	-39.20 [†]	-50.57*	-41.34*	-23.29	-33.24	57.17

* p<0.1, [†] p<0.05, [‡] p<0.01, SDNN: standard deviation of the NN intervals, RMSSD: square root of the mean squared differences of successive NN intervals, LF: low frequency component, HF: high frequency component, TVOC: total volatile organic compounds. The values are presented as percentage changes for interquartile range changes after adjusting for age, sex, past medical history, body mass index, urinary cotinine, blood pressure, blood glucose, seasonal variation, particulate matter.

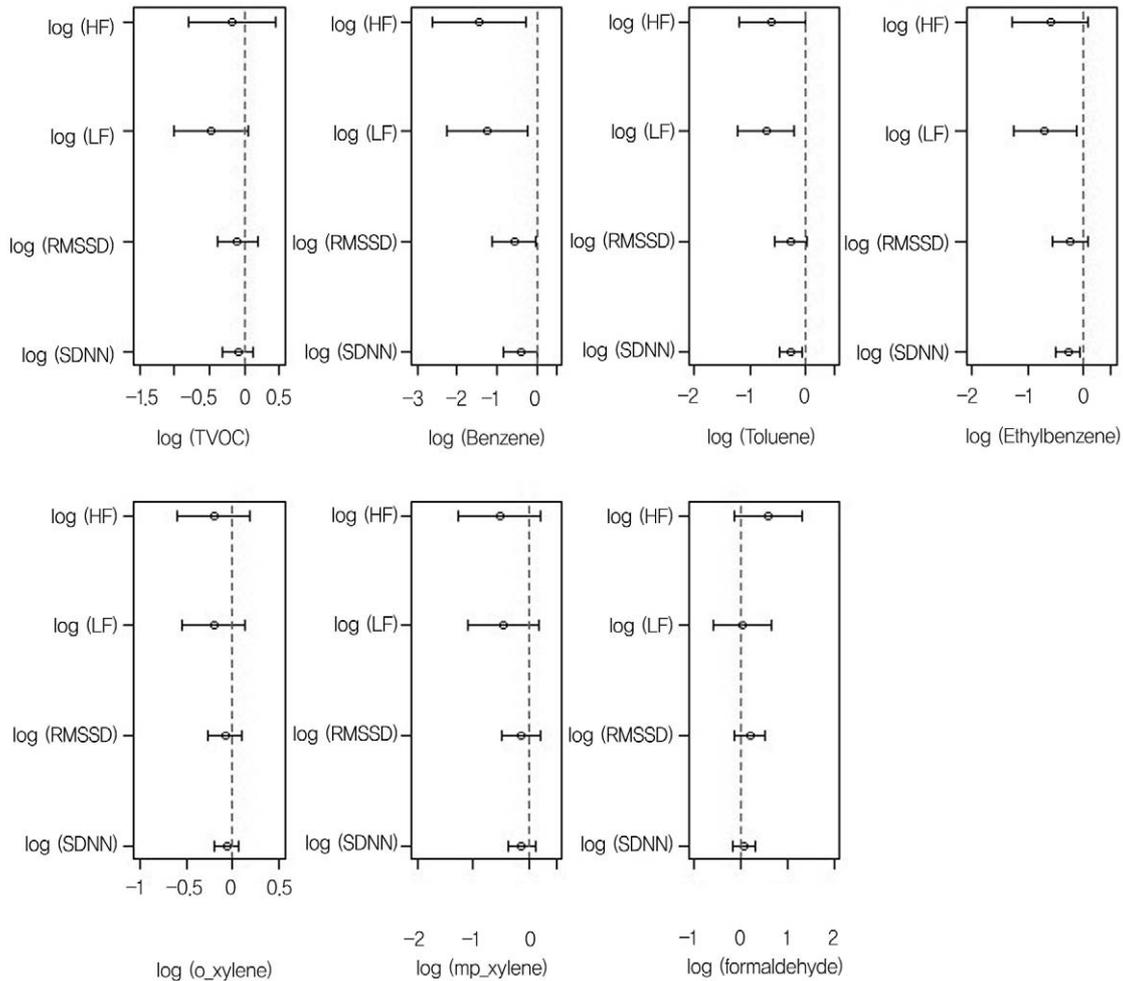


Fig. 1. 95% Confidence intervals of regression coefficients* of indoor air pollutants to heart rate variability parameters in multiple linear analysis.

*Regression coefficient β adjusted for age, sex, past medical history, body mass index, urinary cotinine, blood pressure, blood glucose, seasonal variation, particulate matter.

직업의 노출, 고농도 노출에 중점을 둔 연구였다. 국내의 경우 신축 건축물, 다중 이용시설, 보육시설에 관한 실태 조사를 통해서 실내 공기질과 건강영향에 관한 연구가 진행되고 있다¹⁹⁾. 또한 민감 집단인 어린이들이 거주하는 보육시설 및 학교의 실내 공기질에 관한 실태조사연구가 수행되었다²⁰⁾. 그러나, 또 하나의 민감 집단인 노령 인구에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 노령 인구는 노령으로 인하여 심혈관계 기저질환을 갖는 경우가 많기 때문에 대기 환경 오염에 취약한 집단이다. 또한 노령 인구의 특성 상 실내에 거주하는 시간이 일반인에 비해 매우 길고, 적절한 환기를 하지 않기 때문에 실내 공기 오염에 더욱더 취약한 환경에 노출되어 있다²¹⁾.

본 연구에서는 대표적인 실내 공기 오염물질인 휘발성 유기화합물, 포름알데히드가 심박동변이에 미치는 영향을 보고자 심박동변이 검사를 시행하였다. 그 결과는 벤젠이 증가함에 따라 LF, HF가 감소하여, 교감신경계 및 부교

감신경계 활동이 감소함을 알 수 있었다. 또한 톨루엔에 대한 노출이 증가할수록 SDNN과 LF가 감소하여, 심박동변이가 단조로워지고 교감신경계 활동이 저하됨을 관찰할 수 있었다. 에틸벤젠이 역시 노출이 증가함에 따라서 SDNN, LF가 감소하였고, 이는 심박동변이가 단조로워지고 교감신경계 활동 지표가 감소함을 반영하고 있다. 그러나 총휘발성유기화합물, 자일렌, 포름알데히드에 따라서 심박동변이 지표의 유의한 감소는 관찰되지 않았다. 이러한 심박동변이의 감소는 심혈관계와 관련하여 임상적인 의미를 갖는다. 이에 관한 기존 연구에서 심박동변이의 저하는 자율신경계의 이상소견을 의미하고 이는 심혈관계질환에 의한 사망률 및 예후와 관련되어있다고 알려져 있다²²⁾. Tsuji 등은 SDNN의 1 표준편차가 감소하면 심혈관질환 발생위험도가 1.47배 증가하며²³⁾, LF의 1 표준편차가 감소할 때 일반인구집단의 사망률이 1.7 배 증가한다고 보고하였다²⁴⁾.

휘발성유기화합물은 신경계에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이와 관련된 기존 연구로 Seppalainen 등²⁵⁾은 자동차 페인트공과 철도수리공의 신경전도검사 비교를 통하여 휘발성유기화합물을 다루는 자동차 페인트공에서 비정상적인 신경전도 소견을 보고하였다. 또한 Streicher 등²⁶⁾은 만성적으로 휘발성유기화합물을 흡입한 사람들 중 20%에서 부정맥, 심실조기수축, 빈맥 등을 보고하였으며, Matsushita 등²⁷⁾은 비정상적인 반사작용을 관찰하였다. 또한 Ma 등²⁸⁾이 미용실에 근무하는 62명의 젊은 미용사를 대상으로 휘발성유기화합물이 심박동변이에 미치는 영향을 조사하였고, 본 연구와 마찬가지로 휘발성유기화합물이 증가할수록 심박동변이 지표가 유의하게 감소한다는 보고를 하였다. 또한 2007년 Theophanides 등⁹⁾이 원유 개발 및 저장시설 지역 주민의 심혈관계 질환사망률에 관한 역학적 연구에서 타 지역에 비해 심혈관계 질환 사망률이 높다고 보고하였다. 또한 미세먼지와 같은 대기 오염물질이 심혈관 질환에 미치는 생리학적 기전은 크게 신경계를 통한 기전과 전신적인 염증 반응에 의한 기전으로 설명되는데²⁹⁾, 이러한 생리학적 기전은 휘발성유기화합물과 심혈관 질환의 관계에도 적용 가능할 것이다.

이러한 기존의 연구 결과와 생리학적 기전을 종합해 볼 때, 대기 오염물질에 취약한 노령 인구 집단은 저농도의 휘발성유기화합물에도 신경계에 영향을 받고, 이로 인해 심혈관계에 영향이 미친다는 본 연구의 가설은 일면 타당하다고 사료된다. 그러나, 휘발성유기화합물이 신경계 및 심혈관계에 미치는 영향은 주로 동물 실험, 고농도의 직업적 노출군 연구 등 제한된 역학적 연구에 근거하고 있고, 본 연구 역시 여러 가지 제한점을 갖고 있다. 그러므로 본 연구는 노령 인구 집단에서 저농도의 휘발성유기화합물이 심혈관계에 미치는 영향을 확정적으로 확인하는 것이 아니라, 그 관련성에 관한 단초를 제공하는데 의의가 있다.

휘발성유기화합물과 포름알데히드에 노출되는 경로는 다양하다. 실내에서의 노출은 오염된 실외 공기가 유입되거나, 난방 및 조리 과정에서 연소 물질이 방출되거나, 건물 내부재에 포함되어 있는 물질이 방출되는 등의 과정을 통해서 이루어진다. 또한 이들은 절연성과 내연성이 좋고, 경제성이 뛰어나 건물 내부의 페인트, 광택제, 용제, 보존제 등으로 널리 사용되며³⁰⁾, 끓는점이 낮아 실내 공기 중으로 쉽게 방출된다. 따라서 신축 건물의 경우 휘발성유기화합물과 포름알데히드의 노출이 증가하게 된다. 그리고 실외에서의 노출원은 흡연, 차량 배기가스 등으로 알려져 있다. 이렇듯 다양한 노출원이 존재하고, 실내·외의 노출 농도 차이 및 각 장소에 머무르는 시간이 개인별로 차이가 있어 개인별 노출을 정확히 평가하는 것은 실로 어려운 문제이다.

이와 관련된 기존 연구에서도 개인의 활동으로 인해서 대기 오염물질에 노출되는 미세 환경이 변화하기 때문에, 단순한 실내 공기 측정 자료로는 개인 노출을 정확히 평가하기 어려우며³¹⁾, 개인이 실제로 대기 오염물질에 노출되는 양은 대기에서 측정된 농도보다 높은 경우가 많다는 결과를 제시하고 있다³²⁾. 본 연구에서는 대상자의 호흡기 반경 30 cm 이내에 passive sampler를 부착하여 포름알데히드는 7일, 휘발성유기화합물은 10일 동안 개인별 노출 측정을 시행하여, 미세 환경 변화에 따르는 노출의 오차를 최소화 하고자 하였다.

Gold 등은 대기 오염물질이 신경계에 미치는 영향을 평가하기 위하여 심박동변이 검사를 사용하였으며, 심박동변이 검사가 대기 오염에 의한 건강영향을 평가하는데 있어서도 유용한 지표임을 밝힌 바 있다⁴⁾. 또한 심박동변이 검사는 미세먼지와 같은 대기 오염물질뿐만 아니라 휘발성유기화합물이 자율신경계에 미치는 영향을 평가하는 데에도 사용되고 있다³³⁾. 그러므로 본 연구에서 심박동변이를 사용한 휘발성유기화합물의 건강 영향 평가는 적절하다고 할 것이다.

본 연구에서는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 연구 대상자가 수가 적고, 성별 분포가 불균등하다. 또한 개인별 환경오염노출 측정에 동의한 대상자만을 연구대상자로 선정하였기 때문에 표본의 통계적 대표성을 담보하기 어려웠고, 연구 결과를 궁극적 모집단(target population)인 일반 노령인구 집단으로 일반화할 수 없었다. 둘째, 24시간 측정 자료가 아닌 5분 측정 심박동변이 자료를 이용하였기 때문에, 생리주기에 따른 다양한 변화를 포함하지 못하였다. 다만 5분 측정 자료는 실용성과 재현성이 좋을 뿐 아니라, 24시간 검사 자료와 양호한 상관관계를 나타내므로³⁴⁾, 본 연구의 내적 타당성에 큰 영향은 없을 것으로 판단된다. 셋째, 연구 대상자의 하루 중 실내 체류 시간 정보가 없어서 개인 간의 변이를 분석에 포함시키지 못하였다. 하지만 실내 체류 시간의 개인간 변이가 존재하더라도 일반적으로 실내 체류 시간과 노출 농도는 무작위 변위(random variation)을 보이거나 혹은 역의 상관관계(inverse relation)을 보일 것으로 생각된다. 따라서 연구 결과를 과소추정하게(toward the null) 될 것이므로 본 연구의 결과는 과장된 결과는 아닐 것으로 생각된다. 넷째, 미세먼지 노출 평가가 개인 측정 자료가 아닌 대기 측정 자료를 이용하였다.

세계보건기구 및 주요 국가에서는 주요 실내 공기 오염 물질인 총휘발성유기화합물, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 포름알데히드 등에 관한 기준을 규정하고 있다. 국내에서도 다중이용시설 및 신축 공동주택의 실내 공기질 기준을 규정하고 있는데, 총휘발성유기화합물, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 포름알데히드의 기준 농도는 각

각 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 본 연구에서 측정된 총휘발성유기화합물, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 포름알데히드의 농도는 각각 $172 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $9.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $23.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 모든 수치가 국내 권고 기준 이하로 측정되었다. 그러나 본 연구 결과 국내 실내 공기질 기준 이하의 농도에 노출된다 하더라도, 일부 고령자에서는 자율신경계에 유의미한 건강 영향을 받는 것으로 관찰되었다. 하지만 본 연구의 제한점으로 인해서 결과를 일반 노령 인구 집단까지 일반화해서 해석하기는 어렵다. 좀 더 많은 연구 대상자를 포함하고, 심박동변이에 영향을 미치는 노출에 대한 정밀한 평가가 수반된 추가적인 연구를 통해서, 노령 인구 집단의 건강 영향에 대한 명확한 결과가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구는 그러한 과정을 위한 기초 조사로서 그 의의가 있다고 할 것이다.

요 약

목적: 대기 오염물질에 취약한 인구 집단인 노령 인구를 대상으로 대표적인 실내 공기 오염물질인 휘발성유기화합물과 포름알데히드가 심박동변이에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수행되었다.

방법: 2009년 5월부터 8월까지 서울에 거주하는 만 60세 이상의 노령 인구 57명을 대상으로 선정하였다. 대상자의 일반적인 특성은 설문문을 통하여 조사하였고, 신체 측정, 혈압 측정, 심전도 검사, 혈액 검사, 소변 검사 등을 수행하였다. 실내 공기 오염물질의 노출 평가는 대상자의 호흡기 반경 30 cm 내에 휘발성유기화합물과 포름알데히드의 passive sampler을 부착하여 실시하였다. 심박동변이는 조용한 방에서 앉은 자세로 5분간 시간 범위와 주파수 범위를 측정하였다. 심박동변이에 영향을 미치는 요인을 보정한 상태에서 휘발성유기화합물, 포름알데히드와 심박동변이와의 관계를 분석하였다.

결과: 벤젠에 대한 노출이 증가할수록 LF, HF가 유의하게 감소하였다. 톨루엔에 대한 노출이 증가함에 따라서 박동변이 지표 중 SDNN, LF가 유의하게 감소하였다. 에틸벤젠에서는 SDNN, LF가 유의하게 감소되는 것이 관찰되었다. 총휘발성유기화합물, 자일렌, 포름알데히드는 심박동변이 지표와의 유의한 관계가 관찰되지 않았다.

결론: 본 연구를 통하여 직업적 혹은 고농도 노출이 아니더라도 대기 오염물질에 취약한 서울 일부 지역 고령자에서는 저농도의 노출이 심혈관계에 영향을 준다는 사실을 확인하였다.

감사의 글

이 연구는 2009년에 환경부의 연구비 지원을 받아 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

- 1) Ren C and Tong S. Health effects of ambient air pollution recent research development and contemporary methodological challenges. *Environ Health* 2008;7:56.
- 2) Platts-Mills TA, Woodfolk JA, Chapman MD and Heymann PW. Changing concepts of allergic disease: the attempt to keep up with real changes in lifestyles. *J Allergy Clin Immunol* 1996;98(Suppl):297-306.
- 3) Klepeis NE, Nelson WC, Ott WR, Robinson JP, Tsang AM, Switzer P, Behar JV, Hern SC and Engelmann WH. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2001;11(3):231-52.
- 4) Jang SK, Lim HJ, Park SY, Yoo JH, Jeon JY, Yun SR. The characterization of indoor air quality in nursing care center for the senior. *Environmental Health Research Department National Institute of Environmental Research*. 2007. pp 1-4. (Korean)
- 5) Fuselli S, De Felice M, Morlino R, Turrio-Baldassarri L. A three year study on 14 VOCs at one site in Rome: Levels, seasonal variations, indoor/outdoor ratio and teporal trends. *Int J Environ Res Public Health* 2010;7:3792-803.
- 6) Wallace LA. Comparison of risks from outdoor and indoor exposure to toxic chemicals. *Environ Health Perspect* 1991;95:7-13.
- 7) WHO. Guidelines for air quality. 2000. pp 72-9.
- 8) Jones AP. Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment* 1999; 33(28):4535-64.
- 9) Theophanides M, Anastassopoulou J, Vasilakos C, Maggos T, Theophanides T. Mortality and pollution in several Greek cities. *J Environ Sci Health A* 2007; 42(6):741-6.
- 10) Katz A, Liberty IF, Porath A, Ovsyshcher I and Prystowsky EN. A simple bedside test of 1-minute heart rate variability during deep breathing as a prognostic index after myocardial infarction. *Am Heart J* 1999;138:32-8.
- 11) Tapanainen JM, Thomsen PE, Kober L, Torp-Pedersen C, Makikallio TH, Still AM, Lindgren KS and Huikuri HV. Fractal analysis of heart rate variability and mortality after an acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 2002;90(4):347-52.
- 12) Arad M, Abboud S, Radai MM and Adunsky A. Heart rate variability parameters correlate with functional independence measures in ischemic stroke patients. *J Electrocardiol* 2002;35 (Suppl):243-6.
- 13) Aronson D, Burger AJ. Effect of nesiritide (human b-type natriuretic peptide) and dobutamine on heart rate

- variability in decompensated heart failure. *Am Heart J* 2004;148(5):e16.
- 14) Gold DR, Litonjua A, Schwartz J, Lovett E, Larson A, Nearing B, Allen G, Verrier M, Cherry R, Verrier R. Ambient pollution and heart rate variability. *Circulation* 2000;101(11):1267-73.
 - 15) Kim ST, Yim BB, Jeong JH. Development of a Passive Sampler using 4-amino-3- hydrazino-5-mercapto-1, 2, 4-triazole for Measuring Indoor Formaldehyde. *J KOSAE* 2005;21(6):593-603. (Korean)
 - 16) Kleiger RE, Stein PK and Bigger JT, Jr. Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2005;10(1):88-101.
 - 17) Malik M, Bigger JT, Camm AJ, Kleiger RE, Malliani A, Moss AJ, Schwartz PJ. Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task force of the european society of cardiology and the north american society of pacing and electrophysiology. *Eur Heart J* 1996;17:354-81.
 - 18) Hemingway H, Shipley M, Brunner E, Britton A, Malik M, Marmot M. Does autonomic function link social position to coronary risk? The Whitehall II study. *Circulation* 2005;111(23):3071-7.
 - 19) Kim YS, Roh YM, Lee CM, Kim KY, Kim JC, Jun HJ. Pattern Classification of Volatile Organic Compounds in Various Indoor Environment. *Kor J Env Hlth* 2007;33(1):49-56. (Korean)
 - 20) Yoon CS, Park DU, Park DY. Concentration of Benzene and Volatile Organic compounds in Indoor Air of Preschool Facilities. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2004;14(2):175-80. (Korean)
 - 21) Coelho C, Steers M, Lutzler P and Schriver-Mazzuoli L. Indoor air pollution in old people's homes related to some health problems: a survey study. *Indoor Air* 2005;15(4):267-74.
 - 22) Dekker JM, Schouten EG, Klootwijk P, Pool J, Swenne CA, Kromhout D. Heart rate variability from short electrocardiographic recordings predicts mortality from all causes in middle-aged and elderly men. *Am J Epidemiol* 1997;145(10):899-908.
 - 23) Tsuji H, Larson MG, Venditti FJ Jr, Manders ES, Evans JC, Feldman CL, Levy D. Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. The Framingham Heart Study. *Circulation* 1996;94(11):2850-5.
 - 24) Tsuji H, Venditti FJ Jr, Manders ES, Evans JC, Larson MG, Feldman CL, Levy D. Reduced heart rate variability and mortality risk in an elderly cohort. The Framingham Heart Study. *Circulation* 1994;90(2):878-83.
 - 25) Seppalainen AM, Husman K, and Martenson C. Neurophysiological Effects of Long-Term Exposure to a Mixture of Organic Solvents. *Scand J Work Environ Health* 1978;4:304-14.
 - 26) Streicher HZ, Gabow PA, Moss AH. Syndromes of Toluene Sniffing in Adults. *Ann Intern Med* 1981;94:758-62.
 - 27) Matsushita T, Arimatsu Y, Ueda A. Hematological and Neuro-Muscular Response of Workers Exposed to Low Concentrations of Toluene Vapors. *Ind Health* 1975;13:115-21.
 - 28) Ma CM, Lin LY, Chen HW, Huang LC, Li JF and Chuang KJ. Volatile organic compounds exposure and cardiovascular effects in hair salons. *Occupational medicine* 2010;60:624-30.
 - 29) Brook RD, Franklin B, Cascio W, Hong Y, Howard G, Lipsett M, Luepker R, Mittleman M, Samet J, Smith SC, Tager I. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation* 2004;109(21):2655-71.
 - 30) Maroni M, Seifert B, Lindvall T. *Indoor Air Quality a Comprehensive Reference Book*. Elsevier. Amsterdam. 1995. pp 29-58.
 - 31) Harrison PTC. Health impacts of indoor air pollution. *Chemistry and Industry* 1997;17: 677-81.
 - 32) Wallace LA. Personal exposure to 25 volatile organic compounds. EPA's 1987 team study in Los Angeles, California. *Toxicol Ind Health* 1991;7(5-6):203-8.
 - 33) Mizukoshi A, Kumagai K, Yamamoto N, Noguchi M, Yoshiuchi K, Kumano H, Yanagisawa Y. A novel methodology to evaluate health impacts caused by VOC exposures using real-time VOC and Holter monitors. *Int J Environ Res Public Health* 2010;7(12):4127-38.
 - 34) Min KB, Min JY, Paek DM, Cho SI, Son MA. Is 5-minute heart rate variability a useful measure for monitoring the autonomic nervous system of workers? *Int Heart J* 2008;49(2):175-81.