

Relationship between Home Indoor Air Quality and Glaucoma in Korean Adults

Youngju An*

Dept. of Optometry, Baekseok Culture University, Professor, Cheonan 31065, Korea
(Received June 4, 2024: Revised June 13, 2024: Accepted June 16, 2024)

Purpose: The purpose of this study was to investigate the relationship between indoor air quality and glaucoma in Korean adults. **Methods:** Using data from the 8th National Health and Nutrition Examination Survey, a total of 1,885 people aged 19 years or older were selected for study from July 2020 to August 2021. Indoor air quality was assessed by collecting samples in the households of the study participants to test the levels of four indoor air pollutants (PM_{2.5}, CO₂, HCHO, and TVOC). Glaucoma was classified according to whether it had been diagnosed by a doctor or not. A complex sample cross-analysis was performed to compare general characteristics, housing-related characteristics, and lifestyle and behavior-related factors according to whether or not glaucoma had been diagnosed by a doctor. The T test was used to compare the difference in home indoor air quality according to the absence or presence of glaucoma. Multiple logistic regression analysis was performed to evaluate the influence of home indoor air quality on the risk of glaucoma. **Results:** The average age of the study participants was 53.50±17.17 years (range 19-80 years), and there were 847 (44.9%) men and 1,038 (55.1%) women. The PM_{2.5} levels in the homes of glaucoma patients were not different to those in the homes of glaucoma-free individuals. However, the CO₂ levels were significantly higher in the homes of glaucoma patients. Moreover, in the logistic analysis, CO₂ increased the risk of glaucoma by 1.002 times (95% confidence interval: 1.001 to 1.003) even after adjustments for gender, age, diabetes, hypertension, and humidifier use. **Conclusions:** Although CO₂ increased the risk of glaucoma, with an odds ratio of 1.002, this value was not significant enough to conclude that the pollutant is a risk factor for glaucoma. Therefore, follow-up research should be conducted while leaving open the possibility of a relationship between CO₂ and glaucoma.

Key words: PM_{2.5}, Glaucoma, Indoor air quality, CO₂

서 론

대기오염은 인위적 발생원에서 배출된 물질이 생물에 직접적으로 해를 끼칠 만큼 다량으로 대기 중에 존재하는 상태이다. 세계보건기구(WHO)는 대기오염에 노출되는 것이 전 세계 질병 부담의 주요 원인 중 하나라고 하였으며, 2021년 기준 매년 최소 700만 명이 대기오염으로 사망하고 있다고 보고하였다.^[1] 대기 오염은 일반적으로 가정용 연소 장치, 자동차, 산업 시설 및 산불이 원인이 되어 발생하게 되며, 미립자 물질, 일산화탄소, 오존, 이산화질소 및 이산화황 등이 주요 오염물질로 여겨지고 있다.^[1] 실외 및 실내 대기오염은 호흡기 질환 및 기타 질병을 유발하여 질병률과 사망률을 증가시키는데 대기오염물질은 호흡기 및 심혈관 질환, 암, 만성폐쇄성폐질환(COPD), 알츠하

이머병, 파킨슨병, 뇌졸중 등과 연관이 있다.^[2]

대기오염 물질 중 특히 입자의 지름이 2.5 μm 이하인 초미세먼지(PM_{2.5})는 사람의 기도를 통과한 후 폐포까지 침투해 심장질환과 호흡기 질병을 일으키며 단기간만 노출되어도 인체에 악영향을 미친다. 글로벌 대기오염 조사기관인 에어비주얼(AirVisual)이 출간한 '2023 세계 대기 질 보고서'에 따르면 134개 국가 및 지역 중 총 124개(92.5%)가 WHO 연간 초미세먼지(PM_{2.5}) 지침 값인 5를 초과한다고 밝혔다.^[3] 게다가 2019년 출간한 보고서에 따르면 한국의 경우 경제협력개발기구(OECD) 회원국 중 초미세먼지 오염 농도 1위를 차지해 한국에서 대기오염으로 인한 질병부담은 더욱더 가중될 것으로 생각된다.^[4]

녹내장은 안압이 상승되거나 혈류에 장애가 생겨 시신경이 점차 손상되어 시신경의 구조와 기능에 손상이 오는

*Corresponding author: Youngju An, TEL: +82-41-550-2906, E-mail: yjan@bscu.ac.kr
Authors ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1084-6395

시신경병증으로 전 세계적으로 실명을 초래하는 주요한 원인 중 하나로 알려져 있다.¹⁵⁾ 녹내장은 크게 개방각녹내장(open angle glaucoma)와 폐쇄각녹내장(angle closure glaucoma)로 분류할 수 있으며, 녹내장성 시야결손이 진행 되면 환자의 삶의 질에 상당히 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.¹⁶⁾

이전에 대기오염 물질과 눈 건강의 연관성을 평가한 몇몇 연구가 있었다. 이산화질소로 인한 대기오염과 크로름으로 인한 토양오염은 안구건조증을 유발할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 기준치 이상의 미세먼지(PM₁₀), 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO)에 2~5년간 노출될 경우 황반변성의 위험이 각각 1.4배, 1.3배, 1.5배 높은 것으로 밝혀져 있다.^{17,8)} 또한, 초미세먼지 안에 있는 블랙카본 입자가 체내에 다량 있을 경우 안압을 상승시키는 것으로 밝혀져 초미세먼지가 녹내장의 관련성이 있을 것으로 여겨지고 있다.¹⁹⁾

하지만, 현재 대한민국을 대표하는 데이터를 이용하여 대기오염과 녹내장의 관련성을 평가한 연구는 거의 없었다. 현대인들이 하루의 약 80~90%를 실내에서 생활하며, 이 중 60%를 가정에서 보낸다는 점을 감안할 때 가정 내 실내공기질 수준을 파악하여 눈 건강과의 관련성을 파악하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 만 19세 이상 성인을 대상으로 녹내장과 가정 내 실내공기질의 연관성을 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구는 제 8기 국민건강영양조사 중 2020년 7월부터 2021년 8월까지 가정 실내공기질 조사를 받고 녹내장 의사진단 여부를 묻는 건강설문 조사에 응답한 1,885명을 대상으로 하였다.

2. 연구 방법

녹내장은 녹내장 의사진단 여부에 따라 '있음'과 '없음'으로 분류하였다. 가정 실내공기질은 조사에 동의한 가구를 방문하여 4개의 실내공기오염물질(초미세먼지, 이산화탄소, 폼알데하이드, 총휘발성유기화합물)에 대해 환경부 실내공기질공정시험기준(ES 02130.d)의 실내공기 오염물질 시료채취 및 평가방법에 준하여 측정 및 분석 하였다. 시료채취는 실제 가정의 생활환경(온, 습도, 창문개폐, 가전제품 사용 등의 통제 없이 진행)에서 실시하였다. 측정 방법은 초미세먼지(PM_{2.5})는 중량법(24시간 측정), 이산화탄소(CO₂)는 비분산적외선법(1시간 측정), 폼알데하이드(HCHO)는 2,4 DNPH 카트리지를 법(30분간 2회 연속측정),

총휘발성유기화합물(TVOC)는 고체열탈착흡착법(30분간 2회 연속측정)을 이용하여 측정하였다.

일반적 특성과 관련된 요인으로 만 나이, 성별, 거주 지역, 가구 소득, 흡연, 비만, 당뇨, 그리고 고혈압을 고려하였다. 만 나이는 '20~29세', '30~39세', '40~49세', '50~59세', '60세 이상'으로 분류하였으며, 성별은 '남자'와 '여자'로 분류하였다. 거주 지역은 '도시'와 '농촌'으로 분류하였으며, 가구소득은 '하', '중하', '중', '중상'으로 분류하였다. 흡연은 현재 흡연 여부에 따라 '흡연자(피움, 가끔 피움, 과거에는 피웠으나 현재 피우지 않음)'와 '비흡연자(피우지 않음)'로 분류하였다. 비만은 체중(kg)을 신장의 제곱(m²)으로 나누어 체질량 지수를 산출하였고, '저체중', '정상', '비만 전단계', '비만'으로 분류하였다. 당뇨와 고혈압은 의사진단 여부에 따라 '있음'과 '없음'으로 분류하였다.

주거관련 생활 및 행동관련 요인으로 주택면적, 준공시기, 음식 조리 여부, 최근 6개월 이내 집수리, 최근 6개월 이내 새가구 구입, 가습기 사용, 반려동물 유무, 공기정화기 사용, 그리고 가정 내 흡연자를 고려하였다. 주택면적은 '66 미만', '66~99', '99~132', '132' m² 이상으로 분류하였으며, 준공시기는 '5년 미만', '5~10년 미만', '10~20년 미만', '20년 이상'으로 분류하였다. 이외 음식 조리 여부, 최근 6개월 이내 집수리, 최근 6개월 이내 새 가구 구입, 가습기 사용, 반려동물 유무, 공기정화기 사용은 모두 '예'와 '아니오'로 분류하였고, 가정 내 흡연자 여부는 '있음'과 '없음'으로 분류하였다.

3. 자료 분석

자료는 연속형의 경우 평균±표준편차로 범주형의 경우 가중되지 않은 빈도(퍼센트)로 표기하였다. 가정 실내공기질은 기하평균과 기하표준편차로 제시하였다. 복합표본 교차분석을 시행하여 녹내장 의사진단 여부에 따른 일반적 특성 및 주거관련 특성, 생활 및 행동관련 요인을 비교하였다. T검정을 이용하여 녹내장 유무 따른 가정 내 실내공기질(초미세먼지, 이산화탄소, 폼알데하이드, 총휘발성유기화합물)을 비교하였으며, 복합표본 로지스틱회귀분석을 시행하여 가정 내 실내공기질이 녹내장의 위험에 미치는 영향력을 평가하였고, 공변량을 통제한 후 보정된 교차비(adjusted odds ratio)과 95% 신뢰구간(95% confidence interval, 95% CI)를 구하였다. 자료의 분석은 SPSS 18.0 version(SPSS Inc., USA)을 이용하여 수행하였으며, 유의수준은 $p < 0.05$ 로 정의하였다.

결 과

대상자의 평균 나이는 53.50±17.17(범위 19~80)세였고, 남

Table 1. General and housing-related characteristics of the study participants

Category	Glaucoma		p-value	
	Yes	No		
Age	20~29	1 (3.0)	192 (10.5)	0.004
	30~39	0 (0.0)	252 (13.7)	
	40~49	4 (12.1)	314 (17.1)	
	50~59	2 (6.1)	299 (16.3)	
	60 over	26 (78.8)	776 (42.3)	
	Total	33 (100.0)	1833 (100.0)	
Sex	Male	16 (48.5)	831 (44.9)	0.285
	Female	17 (51.5)	1021 (55.1)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	
Residential area	City	28 (84.8)	1504 (81.2)	0.393
	Rural	5 (15.2)	348 (18.8)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	
Household income	Low	6 (18.2)	343 (18.6)	0.300
	Low-intermediate	11 (33.3)	453 (24.6)	
	Intermediate	4 (12.1)	477 (25.9)	
	Upper-intermediate	12 (36.4)	572 (31.0)	
	Total	33 (100.0)	1845 (100.0)	
Smoking	Yes	2 (6.1)	275 (14.8)	0.181
	No	31 (93.9)	1577 (85.2)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	
Obesity	Low	3 (9.7)	90 (4.9)	0.320
	Normal	10 (32.3)	662 (36.1)	
	Pre obesity	9 (29.0)	411 (22.4)	
	Obesity	9 (29.0)	671 (36.6)	
	Total	31 (100.0)	1834 (100.0)	
Diabetes mellitus	Yes	9 (27.3)	204 (11.0)	0.049
	No	24 (72.7)	1648 (89.0)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	
Hypertension	Yes	11 (33.3)	491 (26.5)	0.078
	No	22 (66.7)	1361 (73.5)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	

자는 847(44.9%)명, 여자는 1,038(55.1%)명이었다. 녹내장 유무에 따른 대상자의 일반적 특성 및 주거관련 특성은 다음과 같았다(Table 1). 녹내장 유무에 따라 만 나이와 당뇨가 유의한 차이를 보였다. 만 나이의 경우 녹내장이 있는 경우는 60세 이상이 78.8%로 녹내장이 없는 경우 42.3%에 비해 많았다($p=0.004$). 당뇨의 경우 녹내장이 있는 경우가 각각 27.3%로 녹내장이 없는 경우(11.0%)에 비해 많았다($p=0.049$).

이외에 성별, 거주 지역, 가구 소득, 흡연, 비만, 그리고 고혈압의 경우는 녹내장 유무에 따른 유의한 차이를 보이

지 않았다.

녹내장 유무에 따른 대상자의 주거관련 생활 및 행동관련 요인을 비교한 결과 녹내장이 있는 경우 가습기를 사용하지 않는 경우(90.9%)가 녹내장이 없는 경우(74.8%)에 비해 많았다($p=0.019$)(Table 2, Fig. 1).

녹내장 유무 따른 가정 내 실내공기질을 비교한 결과는 다음과 같았다(Table 3). 이산화탄소는 녹내장이 있는 경우 $859.36 \pm 57.28(746.21 \sim 972.51)$ ppm으로 녹내장이 없는 경우 $789.39 \pm 18.60(752.65 \sim 826.14)$ ppm에 비하여 유의하게 높았다($p=0.020$). 초미세먼지는 녹내장이 있는 경우 $16.86 \pm$

Table 2. Housing-related characteristics and lifestyle and behavior-related factors of the study participants

Category	Glaucoma		<i>p</i> -value	
	Yes	No		
Area of the house (m ²)	<66	33 (100.0)	1821 (98.3)	0.850
	66~99	0 (0.0)	28 (1.5)	
	100~132	0 (0.0)	3 (0.2)	
	>132	0 (0.0)	0 (0.0)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	
When the house was completed (year)	<5	1 (3.1)	80 (4.5)	0.740
	5~10	3 (9.4)	252 (14.3)	
	11~20	10 (31.3)	584 (33.0)	
	>20	18 (56.3)	852 (48.2)	
	Total	33 (100.0)	1768 (100.0)	
Food cooking	Yes	33 (100.0)	1833 (99.0)	0.658
	No	0 (0.0)	19 (1.0)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	
Home repairs within the last 6 months	Yes	3 (9.1)	148 (8.0)	0.515
	No	30 (90.9)	1704 (92.0)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	
Purchased new furniture within the last 6 months	Yes	2 (6.1)	263 (14.2)	0.436
	No	31 (93.9)	1589 (85.8)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	
Humidifier	Yes	3 (9.1)	467 (25.2)	0.019
	No	30 (90.9)	1385 (74.8)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	
Pet	Yes	2 (6.1)	231 (12.5)	0.216
	No	31 (93.9)	1621 (87.5)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	
Air cleaner	Yes	14 (42.4)	802 (43.3)	0.662
	No	19 (57.6)	1050 (56.7)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	
Smokers in the home	Yes	1 (3.0)	51 (2.8)	0.887
	No	32 (97.0)	1801 (97.2)	
	Total	33 (100.0)	1852 (100.0)	

Table 3. Comparison of detailed values of indoor air quality according to glaucoma

	Glaucoma				<i>p</i> -value
	Yes		No		
	GM*	95% CI†	GM*	95% CI†	
PM _{2.5} (μg/m ³)	16.86±5.71	5.57-28.14	17.22±0.74	15.75-18.69	0.507
CO ₂ (ppm)	859.36±57.28	746.21-972.51	789.39±18.60	752.65-826.14	0.020
HCHO (μg/m ³)	26.86±3.05	20.84-32.89	27.01±1.02	24.99-29.02	0.885
TVOC (μg/m ³)	202.00±51.10	101.06-302.93	257.37±27.55	202.94-311.79	0.770

*GM: geometric mean

†CI: confidence interval

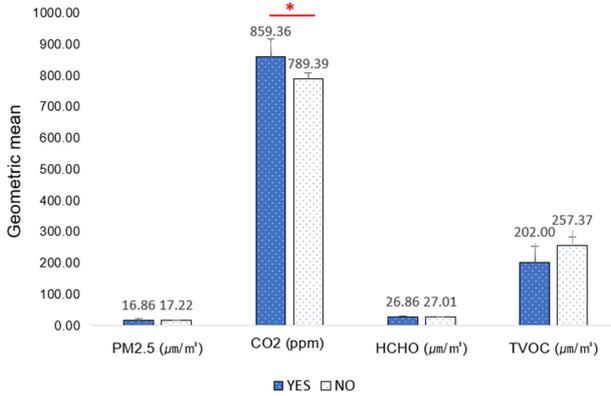


Fig. 1. Comparison of indoor air quality according to the presence (yes) or absence (no) of glaucoma. (The y-axis represents the geometric mean. Error bars represent the geometric standard deviation.)

5.71(5.57~28.14) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 녹내장이 없는 경우 17.22±0.74 (15.75~18.69) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 유의한 차이를 보이지 않았다. 폼알데하이드는 녹내장이 있는 경우 26.86±3.05(20.84~32.89) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 녹내장이 없는 경우 27.01±1.02(24.99~29.02) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 유의한 차이를 보이지 않았다. 총휘발성유기화합물은 녹내장이 있는 경우 202.00±51.10(101.06~302.93) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 녹내장이 없는 경우 257.37±27.55(202.94~311.79) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 유의한 차이를 보이지 않았다.

가정 내 실내공기질이 녹내장에 미치는 영향을 평가한 결과는 다음과 같았다(Table 4). 공변량을 보정하지 않았을 때 이산화탄소는 녹내장의 위험을 1.001배(95% 신뢰구간, 1.000~1.002) 증가시켰으며, 성별, 연령, 당뇨, 고혈압, 가습기 사용을 보정하였을 때 이산화탄소는 녹내장의 위험을 1.002배(95% 신뢰구간, 1.001~1.003) 증가시켰다.

고 찰

본 연구에서는 만 19세 이상 성인을 대상으로 녹내장과 가정 내 실내공기질의 연관성을 알아보려고 하였다. 그 결

과 가정 실내공기질 중 초미세먼지의 경우 녹내장이 있는 경우(16.86±5.71(5.57~28.14)) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 녹내장이 없는 경우(17.22 ±0.74(15.75~18.69)) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 이산화탄소의 경우 녹내장이 있는 경우(859.36±57.28 (746.21~972.51) ppm)에 녹내장이 없는 경우(789.39±18.60 (752.65~826.14) ppm)에 비하여 유의하게 높았다 ($p=0.020$). 이전연구에 따르면 에스트로젠은 시신경을 구성하는 망막 신경절 세포(RGC)를 유지하는데 영향을 미칠 수 있으며, 극도로 높은 혈압과 낮은 혈압은 개방각 녹내장의 위험을 증가시킬 수 있다.^[10,11] 따라서 복합표본 로지스틱회귀분석을 시행할 때 단변량 분석에서 유의하게 나온 변수들에서 Model 1의 경우 성별을 추가하였고, Model 2에서는 혈압을 추가하여 분석하였다. 그 결과 성별, 연령, 당뇨, 고혈압, 가습기 사용을 보정한 후에도 이산화탄소는 녹내장의 위험을 1.002배(95% 신뢰구간, 1.001~1.003) 증가시키는 것으로 나타났다.

현재까지 대기오염이 우리의 피부 및 호흡기를 포함한 인체에 해로운 영향을 미친다는 연구 결과가 많이 보고되고 있다.^[12-15] 대기오염 물질은 자연적으로 또는 인간의 활동으로 인하여 대기로 배출되는 유해한 수준의 기체상 오염 물질과 입자의 혼합물로 구성되며, 그 종류로 이산화황(SO₂), 이산화질소(NO₂), 이산화탄소(CO₂), 일산화질소(NO), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 미세먼지(PM), 휘발성 유기 화합물(VOC) 등이 있다.^[16,17] 이러한 대기오염 물질은 심혈관 질환, 호흡기 질환, 안구 질환, 신경 질환, 암, 사망 등 많은 건강 문제와 질병을 유발하는 것으로 알려져 있다.^[13-15,18]

이전에 대기오염과 안구 질환의 관련성을 알아보기 위한 다양한 연구가 진행되었다. 각막은 안구 표면에 많은 신경이 분포하여 외부 환경적 요인에 매우 민감하기 때문에 대기오염물질(CO, NO_x, PM 등)은 눈에 자극을 주고 결막염을 발생시킬 수 있다.^[19] 대기오염물질 중 특히 입자의 지름이 2.5 μm 이하인 초미세먼지(PM_{2.5})는 알레르기

Table 4. Effect of home indoor air quality on glaucoma

	Crude OR		Adjusted OR			
	OR*	95% CI†	Model 1		Model 2	
			OR*	95% CI†	OR*	95% CI†
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.990	0.958-1.022	0.983	0.947-1.020	0.996	0.972-1.021
CO ₂ (ppm)	1.001*	1.000-1.002	1.001*	1.000-1.002	1.002*	1.001-1.003
HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.995	0.975-1.015	0.998	0.978-1.019	0.998	0.977-1.020
TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.999	0.998-1.001	0.999	0.998-1.001	0.999	0.998-1.001

*OR: odds ratio

†CI: confidence interval

Model 1: Adjusted for age and sex

Model 2: Adjusted for age, sex, diabetes mellitus, hypertension, and humidifier use

성 결막염 및 녹내장과 관련이 있다고 보고되고 있으며, 교통과 관련 대기오염물질에 노출될 경우 나이관련황반변성이 발생할 수 있다고 하였다.^[20-24] 또한 PM 수준이 WHO의 연간 평균 한도인 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 5배 높은 지역을 여행한 사람들의 경우 광범위한 안구 표면의 변화를 겪는다는 사실이 보고된 바 있다.^[18] Sun 등^[21]은 2008~2013년까지 대만인을 대상으로 원발개방각녹내장과 대기오염 노출의 상관성을 평가한 결과 $\text{PM}_{2.5}$ 가 개방각녹내장과 관련이 있는 독립적인 요인이라고 하였다.

Min과 Min의 연구^[22]에 따르면 국민건강보험공단-전국 표본코호트를 이용하여 11년간(2003~2012) 85명의 소아를 추적 관찰한 결과 PM_{10} 에 단기 또는 장기 노출될 경우 소아 녹내장 발병위험이 증가함을 밝혔다. Li 등^[23]은 초미세먼지($\text{PM}_{2.5}$)가 안구 내 조직에 산화스트레스를 증가시켜 직접적인 독성 영향을 미치고 섬유주 세포에서 NLRP3 인플라마좀 매개 pyroptosis의 후속을 유도하여 안구 고혈압 및 녹내장의 발생에 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 처음 예상과 다르게 초미세먼지의 경우 녹내장이 있는 경우와 녹내장이 없는 경우가 유의한 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 본 연구에서 진행된 가정 실내공기질 조사가 일회성 단면조사로 분석결과가 일상생활에서의 지속적 노출 수준을 반영하는데 한계가 있기 때문으로 생각된다.

이산화탄소는 대기에 자연적으로 존재하는 무색, 무취의 기체로 환기가 잘되지 않는 실내공간에서 높은 이산화탄소에 장기간 노출될 경우 두통, 어지러움증, 천식, 심혈관 질환, 뇌졸중 등의 위험이 증가하게 된다.^[25,26] 본 연구에서 이산화탄소의 경우 녹내장이 있는 경우와 녹내장이 없는 경우에 비해 유의하게 높았고 관련된 변수를 보정한 후에도 녹내장의 위험을 1.002배 증가시키는 것으로 나타났다. 본 연구에서 녹내장군이 33명으로 대상자 수가 많지 않았으며 1.002배라는 수치는 이산화탄소가 녹내장의 위험요인이라고 말할 정도로 의미 있는 수치는 아니라고 생각한다.

이전에 이산화탄소와 녹내장의 관련성을 평가한 논문이 거의 없어 본 연구결과와 비교하는 것은 불가능했지만 350만 명의 건강보험공단 표본코호트 데이터를 후향적으로 분석한 연구에서 코골이(수면무호흡증)으로 인해 체내에 산소공급이 저하되고 이산화탄소의 배출이 잘 이루어지지 않을 경우 개방각녹내장의 발병률을 유의미하게 증가시켰다는 결과를 통해 이산화탄소는 녹내장과 관련이 있을 것으로 생각되며 이와 관련하여 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다.^[27]

폼알데하이드와 총휘발성유기화합물은 알레르기 비염, 아토피 피부염, 천식 등 환경성질환을 발생시킬 수 있다.

폼알데하이드는 실온에서 자극성이 강한 냄새를 띤 무색의 기체로 동물 세포에서 DNA 손상을 일으킬 수 있는 발암물질이며, 휘발성 유기화합물은 비점(끓는 점)이 낮아서 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체상 유기화합물을 총칭하며 대기 중에서 질소산화물(NO_x)과 함께 광화학반응으로 오존 등 광화학산화제를 생성하여 광화학스모그를 유발하기도 하고, 벤젠과 같은 물질은 발암성물질로서 인체에 매우 유해한 영향을 미치며 이 휘발성 유기화합물이 흡인에 의하여 호흡기로 흡수되거나 진피층을 통하여 확산되면서 피부로 흡수되면 아토피나 피부질환을 유발하는 것으로 보고되고 있다.^[28,29]

Lee와 Chung^[30]은 638가구를 대상으로 휘발성 유기화합물의 농도를 측정하고 해당세대의 거주자에게 생활환경과 아토피 질환에 관한 설문조사를 실시한 결과 휘발성 유기화합물 농도가 허용기준($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과한 그룹의 경우 대조군에 비해 피부증상, 아토피 진단, 아토피 자각증상을 더 많이 호소했다고 보고하였다. 본 연구에서 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물은 녹내장이 있는 군과 그렇지 않은 군이 유의한 차이를 보이지 않았다.

선행연구에서 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물이 안구에 미치는 영향은 이견이 있는 실정이다. Jiménez Barbosa 등^[31]은 세탁업에 종사하여 유기용제에 노출된 근로자를 대상으로 안구 표면의 변화와 눈물막의 변화를 평가한 결과 안구건조증이 증가했다고 보고하였다. 반면, 브라질의 리우데자네이루에 있는 밀폐된 사무실 건물의 직장인 1,736명과 밀폐되지 않은 사무실 건물의 950명을 대상으로 새집증후군(SBS) 증상의 유병률을 평가한 연구에서 안구건조증 증상은 미립자 물질(PM) 및 휘발성 유기화합물(VOC) 노출 수준과 관련이 없었으며, 이와 유사하게 타이페이의 한 연구에서는 실내 공기 오염(이산화탄소(CO_2) 및 VOC)와 안구건조증 증상 사이에 연관성이 없다고 하였다.^[32,33]

이러한 차이가 발생한 이유는 실내공기 오염물질의 농도는 창문개폐 여부나 환기 횟수 등과 밀접하게 관련되기 때문으로 생각된다. 앞선 연구들에서 실내공기 오염물질 시료를 채취하여 직접적인 수치를 비교하지는 않았기 때문에 정확한 비교는 불가능 했지만 세탁업을 할 경우 오염물질이 지속적으로 새로 발생하고 이에 따라 안구에 더 많은 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 이전에 폼알데하이드 및 총휘발성유기화합물과 녹내장의 연관성에 대해 평가한 연구는 저자가 알기로 진행된 바가 없기 때문에 이에 대해서는 추가연구가 필요할 것으로 생각된다. 국내 연구에서 가정내실내공기질이 안질환에 미치는 영향에 대한 뚜렷한 결과는 보고되지 않은 실정이지만, 이전 연구에 따르면 가정 내 흡연자가 있을 경우, 음식조리 시 가스를 사용

하는 경우, 음식조리 중 환기를 안하는 경우 초미세먼지, 이산화탄소, 총휘발성유기화합물 농도가 높아질 수 있으므로 가정 내에서 흡연을 하지 않고 음식조리 시 후드 작동과 창문을 열어 환기시키며, 공기정화기를 사용하는 등의 노력으로 실내 공기질로 인한 안질환의 가능성을 최소화할 수 있을 것이다.¹³⁴⁾

본 연구는 다음과 같은 제한점이 있다. 첫 번째, 단면연구로 대기오염물질과 녹내장의 인과관계는 평가하기 어렵다. 두 번째, 가정 실내공기질 조사가 단기간 이루어졌기 때문에 녹내장 유병자의 표본수가 부족하고 장기간 노출 결과는 알 수 없다. 세 번째, 개인별로 실내와 실외 환경에 노출되는 시간의 차이는 고려할 수 없었다. 그럼에도 불구하고 실내공기 오염은 전 세계적으로 가장 큰 환경보건 위험요소로 코로나바이러스감염증-19가 발병한 이래로 가정 내 실내 활동이 이전에 비해 크게 증가하였다는 점을 감안할 때 가정 내 실내공기질의 수준을 파악하고 이와 녹내장의 관련성을 평가하는 것은 보건학적 측면에서 매우 중요하며 국내에서 대규모 데이터를 이용하여 대기오염과 녹내장의 관련성을 평가한 첫 연구라는 점에서 그 의미가 있다.

결 론

본 연구에서는 제 8기 국민건강영양조사 자료를 이용하여 만 19세 이상 성인 가구의 실내공기오염물질(초미세먼지, 이산화탄소, 폼알데하이드, 총휘발성유기화합물) 시료를 채취하여 실내 대기오염물질과 녹내장과의 관련성을 평가하였다. 그 결과 초미세먼지의 경우 녹내장이 있는 경우와 없는 경우가 유의한 차이를 보이지 않았다. 이산화탄소의 경우 녹내장이 있는 경우에 녹내장이 없는 경우에 비하여 유의하게 높았고, 로지스틱분석에서 성별, 연령, 당뇨, 고혈압, 가습기 사용을 보정한 후에도 이산화탄소는 녹내장의 위험을 1.002배(95% 신뢰구간, 1.001~1.003) 증가시키는 것으로 나타났다. 이러한 수치는 이산화탄소가 녹내장의 위험요인이라고 말할 정도로 의미 있는 수치는 아니었으나 코골이(수면무호흡증)로 체내에 산소공급이 저하되고 이산화탄소의 배출이 잘 이루어지지 않을 경우 개방각녹내장의 발병률 증가한다는 선행연구 결과를 고려했을 때 이산화탄소와 녹내장의 관련성에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

REFERENCES

[1] WHO(World Health Organization). Air Quality database Updates 2024 (Version Sixth), 2024. <https://www.who.int/>

[data/gho/data/themes/air-pollution/who-air-quality-database](https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution/who-air-quality-database)(20 May 2024).

- [2] Di Q, Wang Y, Zanobetti A, et al. Air pollution and mortality in the medicare population. *N Engl J Med.* 2017;376(26):2513-2522. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1702747>
- [3] IQAir. 2023 IQAir World Air Quality Report, 2023. <https://www.iqair.com/newsroom/waqr-2023-pr>(21 May 2024).
- [4] IQAir. World's most polluted countries & regions 2019. <https://www.iqair.com/world-most-polluted-countries>(21 May 2024).
- [5] Lee D, Kim HK. What laboratory examinations for open-angle glaucoma risk stratification. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2024;65(1):59-67. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2024.65.1.59>
- [6] Kim JH, Cho KJ, Park Y. Visual field progression in patients with primary open angle glaucoma, normal tension glaucoma, and primary angle closure glaucoma. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2022;63(1):60-68. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2022.63.1.60>
- [7] Alves M, Asbell P, Dogru M, et al. TFOS lifestyle report: impact of environmental conditions on the ocular surface. *Ocul Surf.* 2023;29:1-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2023.04.007>
- [8] Ju MJ, Kim J, Park SK, et al. Long-term exposure to ambient air pollutants and age-related macular degeneration in middle-aged and older adults. *Environ Res.* 2022;204(Part A):111953. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111953>
- [9] Nwanaji-Enwerem JC, Wang W, Nwanaji-Enwerem O, et al. Association of long-term ambient black carbon exposure and oxidative stress allelic variants with intraocular pressure in older men. *JAMA Ophthalmol.* 2019;137(2):129-137. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2018.5313>
- [10] Cui YK, Pan L, Lam T, et al. Mechanistic links between systemic hypertension and open angle glaucoma. *Clin Exp Optom.* 2022;105(4):362-371. DOI: <https://doi.org/10.1080/08164622.2021.1964332>
- [11] The chosun daily. Patients with high blood pressure have a 16% higher risk of open-angle glaucoma, 2017. https://health.chosun.com/site/data/html_dir/2017/04/21/2017042101488.html(21 May 2024).
- [12] Di Q, Wang Y, Zanobetti A, et al. Air pollution and mortality in the medicare population. *N Engl J Med.* 2017;376(26):2513-2522. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1702747>
- [13] Eftim SE, Samet JM, Janes H, et al. Fine particulate matter and mortality: a comparison of the six cities and American Cancer Society cohorts with a medicare cohort. *Epidemiology.* 2008;19(2):209-216. DOI: <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181632c09>
- [14] Pope CA 3rd. Air pollution and health-good news and bad. *N Engl J Med.* 2004;351(11):1132-1134. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMe048182>

- [15] Pope CA 3rd, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc.* 2006;56(6):709-742. DOI: <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>
- [16] Kemp AC, Horton BP, Donnelly JP, et al. Climate related sea-level variations over the past two millennia. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2011;108(27):11017-11022. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1015619108>
- [17] Lin CC, Chiu CC, Lee PY, et al. The adverse effects of air pollution on the eye: a review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(3):1186. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19031186>
- [18] Saxena R, Srivastava S, Trivedi D, et al. Impact of environmental pollution on the eye. *Acta Ophthalmol Scand.* 2003;81(5):491-494. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0420.2003.00119.x>
- [19] Schwela D. Air pollution and health in urban areas. *Rev Environ Health.* 2000;15(1-2):13-42. DOI: <https://doi.org/10.1515/REVEH.2000.15.1-2.13>
- [20] Chua SYL, Khawaja AP, Morgan J, et al. The relationship between ambient atmospheric fine particulate matter (PM_{2.5}) and glaucoma in a large community cohort. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2019;60(14):4915-4923. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.19-28346>
- [21] Sun HY, Luo CW, Chiang YW, et al. Association between PM_{2.5} exposure level and primary open-angle glaucoma in Taiwanese adults: a nested case-control study. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(4):1714. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18041714>
- [22] Min KB, Min JY. Association of ambient particulate matter exposure with the incidence of glaucoma in childhood. *Am J Ophthalmol.* 2020;211:176-182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2019.11.013>
- [23] Li L, Zhu Y, Han B, et al. Acute exposure to air pollutants increase the risk of acute glaucoma. *BMC Public Health.* 2022;22(1):1782. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-022-14078-9>
- [24] Mimura T, Ichinose T, Yamagami S, et al. Airborne particulate matter (PM_{2.5}) and the prevalence of allergic conjunctivitis in Japan. *Sci Total Environ.* 2014;487:493-499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.057>
- [25] Cooper ES, West JW, Jaffe ME, et al. The relation between cardiac function and cerebral blood flow in stroke patients. 1. Effect of CO₂ inhalation. *Stroke.* 1970;1(5):330-347. DOI: <https://doi.org/10.1161/01.str.1.5.330>
- [26] Sims JN, Leggett SS, Myla A. Industrial emissions and asthma prevalence. *Eur J Env Public Hlt.* 2020;4(2):em0046. DOI: <https://doi.org/10.29333/ejeph/8288>
- [27] Lee TE, Kim JS, Yeom SW, et al. Long-term effects of obstructive sleep apnea and its treatment on open-angle glaucoma: a big-data cohort study. *J Clin Sleep Med.* 2023;19(2):339-346. DOI: <https://doi.org/10.5664/jcsm.10334>
- [28] Jang AS, Choi IS, Koh YI, et al. Volatile organic compounds contribute to airway hyperresponsiveness. *Korean J Intern Med.* 2007;22(1):8-12. DOI: <https://doi.org/10.3904/kjim.2007.22.1.8>
- [29] Gordon SM, Callahan PJ, Nishioka MG, et al. Residential environmental measurements in the national human exposure assessment survey (NHEXAS) pilot study in Arizona: preliminary results for pesticides and VOCs. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 1999;9(5):456-470. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500042>
- [30] Lee DH, Chung JD. Relevance between Total Volatile Organic Compound (TVOC) exposure level and environmental diseases within residential environments. *J Environ Health Sci.* 2011;37(3):193-200. DOI: <https://doi.org/10.5668/JEHS.2011.37.3.193>
- [31] Barbosa IAJ, Alvarez MFR, Torres GAD, et al. Ocular surface and tear film changes in workers exposed to organic solvents used in the dry-cleaning industry. *PLoS One.* 2019;14(12):e0226042. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226042>
- [32] de Magalhães Rios JL, Boechat JL, Gioda A, et al. Symptoms prevalence among office workers of a sealed versus a non-sealed building: associations to indoor air quality. 2009; 35(8):1136-1141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.005>
- [33] Lu CY, Lin JM, Chen YY, et al. Building-related symptoms among office employees associated with indoor carbon dioxide and total volatile organic compounds. *Int J Environ Res Public Health.* 2015;12(6):5833-5845. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph120605833>
- [34] Kim MRD. Be careful about eye health, air pollution and eye diseases, 2024. <https://blog.naver.com/idumc/223379831805> (13 June 2024).

한국 성인에서 가정의 실내공기질과 녹내장의 관련성

안영주*

백석문화대학교 안경광학과, 교수, 천안 31065

투고일(2024년 6월 4일), 수정일(2024년 6월 13일), 게재확정일(2024년 6월 16일)

목적: 한국인을 대상으로 가정 실내공기질과 녹내장의 연관성을 알아보려고 하였다. **방법:** 제 8기 국민건강영양조사 자료를 이용하여 2020년 7월부터 2021년 8월까지 만 19세 이상 총 1,885명을 대상으로 하였다. 가정 실내공기질은 가구를 방문하여 4개의 실내공기오염물질(초미세먼지, 이산화탄소, 폼알데하이드, 총휘발성유기화합물)에 대해 시료를 채취하였고, 녹내장은 의사진단 여부에 따라 분류하였다. 복합표본 교차분석을 시행하여 녹내장 의사진단 여부에 따른 일반적 특성 및 주거관련 특성, 생활 및 행동관련 요인을 비교하였고, T검정을 이용하여 녹내장 유무 따른 가정 내 실내공기질을 비교하였으며, 복합표본 로지스틱회귀분석을 시행하여 가정 내 실내공기질이 녹내장의 위험에 미치는 영향력을 평가하였다. **결과:** 대상자의 평균 나이는 53.50 ± 17.17 (범위 19~80)세였고, 남자는 847(44.9%)명, 여자는 1038(55.1%)명이었다. 초미세먼지는 녹내장 유무에 따른 차이를 보이지 않았다. 이산화탄소는 녹내장이 있는 경우가 없는 경우에 비하여 유의하게 높았고, 로지스틱분석에서 성별, 연령, 당뇨, 고혈압, 가슴기 사용을 보정한 후에도 이산화탄소는 녹내장의 위험을 1.002배(95% 신뢰구간, 1.001~1.003) 증가시키는 것으로 나타났다. **결론:** 이산화탄소가 녹내장의 위험을 증가(OR: 1.002)시켰으나 이는 이산화탄소가 녹내장의 위험요인이라고 말할 정도로 의미 있는 수치는 아니었다. 따라서 이산화탄소와 녹내장의 관련성에 대한 가능성을 열어두고 후속 연구가 진행되어야 할 것이다.

주제어: 초미세먼지, 녹내장, 실내공기질, 이산화탄소