

Review

대기오염이 자살, 우울증 및 정신질환에 미치는 영향

강신우¹, 송인성¹, 장정주¹, 서다은¹, 김호^{1,2,*}¹서울대학교 보건대학원 보건학과²서울대학교 보건환경연구소**Effects of Air Pollution on
Suicide, Depression, and Mental disorder**Cino Kang¹, In Sung Song¹, Jeongju Jang¹, Da Eun Seo¹ and Ho Kim^{1,2,*}¹Department of Biostatistics and Epidemiology, Graduated School of Public Health, Seoul National University²Institute of Health and Environment, Seoul National University**Abstract**

Objectives: The aim of this study was to examine the effects of air pollution on suicide, depression, and mental disorder by comprehensively reviewing the studies conducted from 2010 to 2019.

Methods: Literatures were searched using the Pubmed and Google Scholar Search engines. The search terms were used in combination with the words 'air pollutant', 'air pollution', 'mental illness', 'mental disorder', 'depression', and 'suicide'. The literature search period was from 2010 to 2019 and collected based on published literature during that period. Among the retrieved literatures, the studies related to animal experiment or biological mechanisms were excluded and finally a total of 25 literatures were selected, including nine related to air pollution and suicide, eight related to air pollution and depression and eight related to air pollution and other mental disorders.

Results: The effects of air pollution on suicide were reported in all 9 studies with significant results at least two air pollution factors among PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂ and CO. In addition, except for CO, it showed relatively obvious association between air pollution and suicide. In case of depression, it has been shown to have an association with PM_{2.5}. In addition, seven of the nine studies reported the effects of depression on air pollution, but due to the small number of studies, pollution factors except PM_{2.5} need to be reviewed further. For other mental disorders, one thing this study clearly shows is that the effects of PM_{2.5} are affecting a wide variety types of mental disorders.

Conclusion: In this study, we have identified some associations of air pollution with suicide or mental disorder, therefore we hope that the results of this study can be an important basis for future environmental policy.

Keywords: Air pollution, Suicide, Depression, Mental disorder

Introduction

전 세계적으로 대기오염은 건강에 유해한 영향을 미치는 중요한 환경 문제로 부각됨에 따라 지속적으로 대기오염의 건강영향에 대한 연구들이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 대기오염의 주요물질들은 탄소(CO_x), 질소(NO_x)와 황산화

물(SO_x), 오존(O₃) 그리고 미세먼지(PM_{2.5}, PM₁₀) 등이 대표적이며, 미국 환경보호청 (EPA; Environmental Protection Agency) (2019)은 대기오염 물질의 노출로 인한 사망, 호흡기계 및 심혈관계 질환 등의 건강영향을 지속적으로 보고하고 있다[1]. 또한 WHO(World Health

* Corresponding author: Ho Kim, Ph.D. (hokim@snu.ac.kr., 02-880-2702)

Department of Biostatistics and Epidemiology, School of Public Health, Seoul National University, 1 Gwanak-Ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, South Korea.

Organization)의 세계질병부담 위험평가의 일환으로 진행된 Cohen, A. J. 등(2017)의 연구에 따르면 대기오염이 급성 및 만성질환 전반에 걸쳐 영향을 미치고 있으며, 특히 초미세먼지와 같은 대기오염으로 인해 전세계적으로 420만 명이 사망하고, 이에 따른 장애보정손실수명(DALY; disability-adjusted life years)의 경우 1억 년이 넘는 것으로 나타났다[2]. 대기오염의 대표적인 물질인 미세먼지의(PM_{2.5}, PM₁₀)의 경우 다양한 건강영향 연구결과들이 보고되고 있는데, 오스트리아, 프랑스, 스위스 등 유럽 국가에서 발생한 총 사망의 6%가 PM₁₀에 의해서 발생하였으며, 만성기관지염이나 천식 발병에 중대한 영향을 미치는 것으로 나타났다[3]. 또한 Stieb, D. M. 등(2012)은 영유아들에 대한 연구를 통해 미세먼지가 저체중 출산 가능성을 1.1배 높이며, 조산의 가능성 또한 높인다고 보고하였다[4]. 더불어 미세먼지는 심혈관계질환 또는 폐질환과도 높은 연관성을 보이는 것으로 나타났다[5, 6]. 한편 이산화황과(SO₂) 이산화질소(NO₂)는 호흡기계질환, 일산화탄소(CO)는 심혈관계질환과 관련이 있는 것으로 나타났으며[7], Atkinson, R. 등(2016)의 연구에서는 오존(O₃)이 따뜻한 계절에서 심혈관 사망위험을 1.01배, 호흡기계 질환 사망위험의 경우 1.03배 증가시킨다고 보고하였다[8].

이처럼 대기오염이 건강에 미치는 영향은 자명한 것으로 나타났으나 관련 연구들은 대부분 사망이나 호흡기계 질환, 심혈관계질환 및 폐질환을 중심으로 이루어졌다. 하지만 최근들어 대기오염과 정신질환과의 연관성을 살펴보는 연구가 주목을 받고 있다. 이는 우울증과 같은 정신질환과 정신질환의 극단적 결과인 자살 등 정신질환으로부터 야기되는 사회적 손실이 매우 크기 때문이다. WHO(2014)에 따르면 2012년 전 세계적으로 전체 사망의 1.4%인 804,000명이 자살로 사망한 것으로 추정하였으며[9], 세계정신건강연맹(World Federation for Mental Health)은 2012년 350만명에 이르는 사람들이 우울증을 겪고 있지만 그 수가 해마다 증가하고 있다고 보고하였다[10]. 또한 2010년 우울증으로 인한 장애보정손실수명(DALY)이 1990년과 비교하여 37% 증가하는 등 정신질환은 전 세계 질병 부담의 중요한 요소 중 하나로 인식되고 있다[11]. 또 하나의 중요한 사실은 이러한 우울증과 같은 정신질환이 자살과 직접적인 연관성이 있다는 것이다.

Tondo L. 등(2003)의 연구에서 자살 사망자의 60~80%가 우울증으로 고통받으며, 중증 우울증을 가진 환자의 15%는 결국 자살을 택한다는 연구결과는 정신질환의 심각성을 단적으로 보여주고 있다[12].

이와 같이 정신질환이나 자살은 보건학적 관점에서 반드시 관리되고 예방이 필요한 질병이지만 어떠한 요인들이 영향을 미치는지는 그리 간단하지 않다. 특히 대표적인 정신질환인 우울증의 경우 음주, 수면문제, 부적절한 식이, 낮은 육체활동, 낮은 행복수준, 낮은 자존감, 부정적 삶의 경험, 낮은 사회적 지위, 스트레스 환경, 사회적 격리 등 개인의 생활부터 심리적 상태나 사회적 상황까지 복합적으로 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다[13]. 이러한 다양한 요인 중 환경적 요인은 점차 그 중요성이 부각되고 있으며, 과거에는 환경 요인이 주로 햇빛이나 강수 등 기상학적 요인에 한정되어 있었으나[14, 15] 최근 들어 대기오염 관측기술이나 농도 추정 모형이 발달함에 따라 대기오염과 자살, 정신질환과의 관계를 살펴보는 연구가 다양한 국가에서 이루어지고 있다. 또한 이러한 흐름은 대기오염이 정신질환에 영향을 미치는 생물학적 기전과 같은 여러가지 근거들에 바탕을 두고 있다. 특히 중요한 생물학적 기전 중 하나로서 대기오염물질이 산화스트레스(oxidative stress)나 만성신경염증(chronic neuroinflammation)을 증가시키고 이는 중추신경계에 영향을 미쳐 정신상태를 악화시키고 자살 위험을 증가시킨다는 것이다. 또한 대기오염물질은 사이토카인(cytokines)과 같은 염증성 매개체를 증가시키고 신경염증 반응을 활성화함으로써 뇌혈관계 손상과 신경퇴행을 야기하여 정신질환의 발현에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[16-18].

즉 이처럼 대기오염의 정신질환에의 영향에 관한 연구는 전 세계에서 다양한 형태로 진행되고 있다. 따라서 본 연구는 지금까지 여러 연구자들로부터 수행된 연구결과를 종합적으로 검토함으로써 대기오염이 자살, 우울증, 그리고 우울증을 제외한 기타 정신질환에 대해서 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고자 한다.

Material and Methods

본 연구에서는 대기오염과 자살, 우울증 및 기타 정신질환과의 연관성을 살펴보기 위해 Pubmed와 구글학술검색 엔진을 이용하여 문헌

을 검색하였다. 검색어는 ‘air pollutant’, ‘air pollution’, ‘mental health’, ‘mental disorder’, ‘depressive symptom’, ‘depression’, ‘suicide’ 등의 단어를 조합하여 활용하였으며, 문헌 검색 기간은 2010년부터 2019년까지로, 해당 기간 동안 출판된 문헌을 기준으로 수집하였다. 검색된 문헌 중 동물실험이나 생물학적 기전에 대한 문헌을 제외하고 최종적으로 대기오염과 자살 관련 9개 문헌, 대기오염과 우울증 관련 8개 문헌, 대기오염과 기타 정신질환 관련 8개 문헌 등 총 25개 문헌을 선정하였다. 여기서 자살은 자살 사망(suicide)과 자살 시도(suicidal attempt)를 포함하며, 우울증은 우울증(depression), 우울증상(depressive symptom)을 포함하였다. 기타 정신질환은 불안감(anxiety), 스트레스(stress), 의도적자해(non-suicidal self-injury), 자폐범주성장애(ASD; autism spectrum disorders), 쾌감상실증(anhedonia) 등을 포함하였다.

Results

대기오염과 자살과의 연관성

대기오염과 자살로 인한 사망 또는 자살시도로 인한 응급실 방문 간 연관성을 총 9개의 문헌을 통해 살펴보았다[Table 1]. 특히 모든 연구에서 다양한 대기오염물질의 종류(PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, O₃, CO 등)와 자살위험의 연관성을 보였는데 5개의 문헌에서 PM_{2.5}[16, 19-22], 8개의 문헌에서 PM₁₀[16, 19, 20, 22-26], 7개의 문헌에서 NO₂와 SO₂[16, 20-22, 24-26], 3개의 문헌에서 O₃[22-24], 2개의 문헌에서 CO[22, 24]의 각 농도에 따라 자살위험에 얼마나 영향을 끼치는지 결과를 도출하였다.

PM_{2.5}

본 연구에서 선별한 문헌 중에서 PM_{2.5}와 자살 사이의 연관성을 살펴보는 연구의 경우 모두 PM_{2.5}의 단기노출에 따른 영향을 확인하였다. Bakian, A. V. 등(2015)의 연구에서는 자살이 발생하기 2일 전 PM_{2.5}의 농도(Lag 2)가 사분위수범위(IQR)만큼 증가할 경우 자살사망의 OR은 1.05(95% CI : 1.01, 1.61)이고, 특히 봄철에는 자살 사망 당일부터 3일까지의 평균농도(Lag 03)에 따른 OR이 1.28(95% CI : 1.01, 1.61)로 PM_{2.5}와 자살과의 연관성이 유의한 것으로 나타났다[16]. Ng, C. F. S. 등(2016)의 연구에서는 당일부터 3일 전까지 PM_{2.5}의 평균농도(Lag 03)가 사분위수범위만큼 증가하면 자살 사망률은 10.55%(95% CI :

2.05, 19.75) 증가하였고[21] Kim, C. 등(2010)은 PM_{2.5} 농도가 사분위수범위만큼 증가하면 자살 위험이 10.1% 증가함을 보였다[19]. 위 연구들에서는 PM_{2.5}에 대한 단기노출 농도의 증가가 유의하게 자살위험의 증가와 양의 연관성을 띄는 것을 확인할 수 있었지만 Kim, Y. 등(2018)의 연구는 PM_{2.5} 농도와 자살위험 간 연관성을 보이지 않았다[20].

PM₁₀

PM₁₀의 단기노출과 자살의 연관성에 대한 연구에서, Kim, Y. 등(2018)의 연구는 당일과 하루 전의 PM₁₀ 평균농도(Lag 01)가 사분위수범위만큼 증가할 때 자살의 RR이 1.019(95% CI : 1.004, 1.029)라고 보고하였고[20], Lin, G. Z. 등(2016)의 연구에서는 당일부터 2일 전까지의 평균 PM₁₀ 농도(Lag 02)가 사분위수범위만큼 증가하면 RR은 1.13(95% CI : 1.01, 1.27)이라고 보고하였다[25]. 한편 Kim, Y. 등(2015)의 연구에서는 PM₁₀의 4주 전 농도가 2표준편차범위만큼 증가 시 자살률은 3.6% 증가한다고 보고하였다[24], 또한 Kim, C. 등(2010)의 연구는 PM₁₀의 농도가 사분위수범위만큼 증가하면 자살위험은 9% 증가하고 특히 호흡기 질환을 갖는 환자의 경우 PM₁₀의 자살 당일부터 2일 전까지의 평균농도(Lag 02)는 자살과 18.9%(95% CI : 3.2, 37.0) 상관이 있다고 밝혔다[19]. PM₁₀의 단기노출 영향에 대해 전반적으로 PM₁₀은 유의하게 자살위험을 증가시키는 것을 확인할 수 있었지만 Casas, L. 등(2017)의 연구는 PM₁₀ 노출이 자살사망과 유의미한 관계를 갖지 못하는 것을 확인하였다[23].

한편 자살에 대한 PM₁₀의 장기노출 영향을 살펴본 Min, J. Y. 등(2018)의 연구에서는 PM₁₀의 연평균 노출이 사분위수범위(7.5µg/m³)만큼 증가할 경우 HR이 3.09(95% CI : 2.63, 3.63)로 나타났으며, 가장 낮은 대기오염수준(Q1) 대비 가장 높은 대기오염수준(Q4)에 대한 HR은 4.03(95% CI : 2.97, 5.47)임을 보고하였다[26].

NO₂ & SO₂

NO₂와 SO₂의 단기노출에 따른 자살과의 연관성에 대한 연구에서 Kim, Y. 등(2018)은 NO₂와 SO₂는 당일과 하루 전의 평균농도(Lag 01)가 사분위수범위만큼 증가하면 자살사망의 RR은 각각 1.019(95% CI : 0.999, 1.039), 1.020(95% CI : 1.005, 1.036)이라고 보고하였다[20]. Lin, G. Z. 등(2016)은 자살사망 당일부터 2일 전까지 NO₂의 평균농도(Lag 02)가 사분위수범위만큼 증가하면

Table 1. 자살과 대기오염 관련 연구결과 요약

저자 (출판연도) 연구지역	연구디자인	샘플특성 /연구기간	노출변수	결과변수	연구결과
Kim, Y. et al. (2018) [20]	Time-stratified case-crossover study	한국, 일본, 대만 10개 대도시 한국2001-2010(10years) 일본1979-2009(31years) 대만1994-2007(14years)	short-term -NO ₂ -SO ₂ -PM ₁₀ -PM _{2.5} -PM _{10-2.5}	자살사망	- 여러 날 동안 NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{10-2.5} 의 높은 수준은 자살위험과 양의 연관성을 보임 - SO ₂ 와 NO ₂ 에 대한 연관성은 두번째 오염물질에 대한 조정 후 감소함 - PM _{2.5} 에 대해서는 연관성의 증거를 찾지못함
Lin, G.-Z. et al. (2016) [25]	Time-stratified case-crossover study	중국 광저우 일별 자살사망 2003-2012(10years)	short-term -NO ₂ -SO ₂ -PM ₁₀	자살사망	- 자살위험은 PM ₁₀ , NO ₂ , SO ₂ 농도의 사분위범위(IQR) 증가와 관련이 있음 - 남성 및 고학력자의 대기오염 관련 자살위험은 각각 여성, 저학력자보다 높음 - 유의한 대기오염 영향은 시원한 계절(cool season)에서 발견되었고 따뜻한 계절(warm season)에는 발견되지 않음
Kim, Y. et al. (2015) [24]	Nationwide Study	한국 16개 도시 주별 자살사망 2006-2011(6years)	short-term -O ₃ -PM ₁₀ -NO ₂ -CO -SO ₂	자살사망	- 조사된 5대 오염물질 중 4주 지연까지의 오존(O ₃) 농도는 자살률과 강한 연관성을 보임 - 4주 지연 PM ₁₀ 또한 자살사망과 연관성을 보임
Bakian, A. V. et al. (2015) [16]	Time-stratified case-crossover study	미국 Salt Lake County, Utah 지역 자살 사망(n = 1,546) 2000-2010(11years)	short-term -NO ₂ -PM ₁₀ -PM _{2.5} -SO ₂	자살사망	- NO ₂ 의 자살 전 3일간 평균노출과 PM _{2.5} 의 자살 전 2일 농도에서 최대자살 오즈비(Odds Ratio) 확인 - NO ₂ 는 봄/가을 환절기에 자살사망에 유의한 영향을 미치며, PM _{2.5} 의 경우 봄에 유의한 연관성을 보임
Ng, C. F. S. et al. (2016) [21]	Time-stratified case-crossover study	일본 도쿄 자살 사망자 2001-2011(11years)	short-term -PM _{2.5} -SPM (suspended particulate matter) -SO ₂ -NO ₂	자살사망	- 30세미만에서 노출당일 NO ₂ 의 사분위 범위(IQR) 증가는 자살사망률을 증가시킴 - lag0-3(전3일~당일평균) IQR증가는 PM _{2.5} 와 SO ₂ 가 자살사망과 연관성을 보임 - 여름에는 대기오염물질에 대한 양의 연관성이 관찰되었지만 가을에는 반대로 나타난
Min, J.-y. et al. (2018) [26]	Time-stratified case-crossover study	한국 국민건강보험공단 표본코호트자료 20세 이상 성인(n=265,749) 2002-2013(11years)	long-term -PM ₁₀ -NO ₂ -SO ₂	자살사망	- 자살사망은 PM ₁₀ , NO ₂ , SO ₂ 의 IQR증가와 연관성이 있으며, 가장 낮은 대기오염물질 수준(Quartile1)에 비해 가장 높은 대기오염 수준(Quartile4)의 위험이 크게 증가 - 신체적 또는 정신적 장애가 있는 대상자는 장애가 없는 대상자보다 대기오염 노출에 따른 자살사망 위험이 높음 - 대도시 지역 인구는 비도시 지역 인구보다 장기적인 PM ₁₀ 노출에 더 취약
Casas, L. et al. (2017) [23]	Time-stratified case-crossover study	벨기에 자살 사망(total 20,533 suicide deaths) 2002-2011(10years)	short-term -PM ₁₀ -O ₃	자살사망	- PM ₁₀ 은 전체기간에서는 자살과 유의미한 연관성을 보이지 않으나, 여름철에 자살의 유의미한 증가와 연관성을 보임 -오존의 경우 전체기간에서 자살과 유의미한 연관성을 보이며, 봄, 여름, 가을은 사망과 양의관계, 겨울은 음의 관계를 보임

대기오염이 자살, 우울증 및 정신질환에 미치는 영향

Kim C. et al. (2010) 한국 [19]	Time-stratified case-crossover study	한국 7개 광역시 자살 사망(n=4,341) 2004	short-term -PM ₁₀ -PM _{2.5}	자살사망	- PM ₁₀ 과 PM _{2.5} 의 IQR 증가에 따라 각각 자살위험이 증가함 - 호흡기질환 환자의 경우 자살0~2일전 PM ₁₀ 과 자살과의 상관성이 관찰됨
Szyszkowicz, M. et al. (2010) 캐나다 [22]	Time-stratified case-crossover study	캐나다 밴쿠버 자살시도로 인한 St.Paul's Hospital 병원 응급실 방문 1999-2003(5years)	short-term -NO ₂ -SO ₂ -O ₃ -CO -PM ₁₀ -PM _{2.5}	자살시도로 인한 응급실 방문	- CO, NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ 와 추운 계절의 자살시도 간 유의한 상관관계가 드러남 - 특히 남성의 경우 NO ₂ 의 1일 지연노출에 대한 초과위험이 매우 유의함 - 더운 계절에서는 유의한 연관성이 발견되지 않음

RR은 1.15(95% CI : 1.03, 1.28), 당일과 하루 전의 SO₂ 평균농도(Lag 01)가 사분위수범위만큼 증가하면 RR은 1.12(95% CI : 1.02, 1.23)임을 도출하였다[25]. 또한 Bakian, A. V. 등(2015)의 연구는 자살 이전에 3일간 평균적으로 노출된 NO₂(Lag 03)가 사분위수범위만큼 증가하면 자살위험의 OR이 1.20 (95% CI : 1.04, 1.39)이며, 특히 봄/가을 환절기에는 OR이 1.35(95% CI : 1.09, 1.66)임을 밝혔다[16]. Ng, C. F. S. 등(2016)의 연구는 자살 당일부터 3일 전까지의 SO₂ 평균농도(Lag 03)가 사분위간범위만큼 증가하면 사망률은 11.47% (95% CI : 3.60, 19.93) 증가하는 한편, 그 중 30세 미만의 사망자 중에서는 NO₂의 사분위간범위 증가가 사망률을 6.73% (95% CI : 0.69, 13.12) 증가시킴을 보고하였다[21]. 또한 Szyszkowicz, M. 등(2010)의 연구는 남성의 경우 NO₂의 하루 전 노출(Lag 1)로 인한 자살시도의 초과위험이 23.9%(95% CI : 7.8, 42.4)이며, OR은 1.21(95% CI : 1.03, 1.41)임을 보고하였다[22].

한편 자살과 NO₂ 및 SO₂의 장기노출 영향을 살펴본 Min, J. Y. 등(2018)의 연구에서는 연평균 NO₂와 SO₂의 농도가 각각 사분위수범위인 11.8 ppb, 0.8 ppb만큼 증가할 경우 이에 따른 HR은 각각 1.33(95% CI : 1.09, 1.64), 1.15(95% CI : 1.07, 1.24)로 나타났고, 가장 낮은 대기오염수준 대비 가장 높은 대기오염수준에 대한 HR은 1.52(95% CI : 1.17, 1.96), 1.65(95% CI : 1.29, 2.11)임을 보였다[26].

이러한 결과들은 NO₂와 SO₂의 농도가 높아질수록 자살로 인한 사망위험이 유의하게 높아진다는 것을 짐작할 수 있게 한다.

O₃

자살에 대한 O₃의 단기노출 영향을 살펴본 Kim, Y. 등(2015)은 O₃가 5대 오염물질(O₃, PM₁₀, NO₂, CO, SO₂) 중 자살률과 가장 강한 연관성을

보인 것으로 보고하였으며, 특히 당일노출(lag0)이 연간 평균 O₃ 농도의 2표준편차 범위만큼 증가하면 자살률이 7.8% 증가한다고 보고하였다[24].

대기오염과 우울증과의 연관성

대기오염과 우울과 관련된 증상은 총 8편의 문헌을 통해 그 관계를 살펴보았다(Table 2). 그 중 PM_{2.5}에 관한 연구는 6개[27-34], PM₁₀에 관한 연구는 3개[31, 33, 34], NO₂에 관한 연구 4개[30-33], SO₂에 관한 연구 3개[30, 32, 33], O₃에 관한 연구 4개[28, 30, 32, 33], CO에 관한 연구 2개[32, 33]로 나타났으며, 이에 대해 대기오염 각각의 노출에 따른 우울증 연관성을 살펴보았다.

PM_{2.5}

PM_{2.5}가 우울증에 미치는 단기노출 영향에 대한 연구로 Szyszkowicz, M. 등(2016)은 남성일 경우 PM_{2.5}의 하루 전 농도(Lag 1)가 사분위수범위만큼 증가하면 우울증으로 인한 응급실 방문의 OR은 1.014(95% CI : 1.000, 1.028)임을 밝혔다[30].

한편 우울증에 대한 PM_{2.5}의 장기노출 영향에 대해서는 Kim, K. N. 등(2016)은 2007년의 평균 PM_{2.5}가 10µg/m³ 증가할수록 우울장애의 HR이 1.44(95% CI : 1.17, 1.78)이라고 보고하였으며, 2007~2010년 평균농도에 따른 HR은 1.59 (95% CI : 1.02, 2.49), 그리고 2007~2010년의 12개월 이동평균에 따른 HR은 1.47(95% CI : 1.14, 1.90)이라고 보고하였다. 특히 만성질환을 앓고 있는 환자의 경우 대기오염과 우울장애와의 상관성이 더욱 증가함을 보였다[27]. 장기노출에 대한 Kioumourtoglou, M. A. 등(2017)의 연구에서는 장기적으로 PM_{2.5}가 10µg/m³ 증가할수록 우울증 진단 및 항우울제를 사용하게 될 HR은 1.08(95% CI : 0.97, 1.20)으로 우울증 발병위험이 유의하게 높지는 않지만, 항우울제 복용만

Table 2. 우울증과 대기오염 관련 연구결과 요약

저자 (출판연도) 연구지역	연구디자인	샘플특성 /연구기간	노출변수	결과변수	연구결과
Kioumour tzoglou, M.-A. et al. (2017) 미국 [28]	Prospective cohort study	미국 간호사 건강조사 (Nurses' Health Study)의 우울증이 없는 여성 (n=41,844) 1996- 2008(13years)	long-term -PM _{2.5} -O ₃	우울증 발병	- PM _{2.5} 와 O ₃ 의 우울증 발병에 대한 연관성이 확인됨 - 진단을 빼고 항우울제 사용만을 우울증으로 정의했을 때 연관성은 더 강하게 나타남
Pun, V. C. et al. (2016) 미국 [29]	Cross- sectional study	미국 국민 사회 생활, 건강 및 고령화 프로젝트의 57-85세의 고령 지역사회 거주민(n = 4,008) Wave1: 2005.07- 2006.03 Wave2: 2010.08- 2011.05	short-term / long-term -PM _{2.5}	우울증 및 불안증세 수준	- 우울증상은 PM _{2.5} 의 모든 노출조건에서 유의한 연관성을 보임 - 연관성은 사회경제적상태 수준이 낮고 동반질환이 있는 경우 강화됨
Wang, Y. et al. (2014) 미국 [32]	Prospective cohort study	미국 보스턴 65세 이상 성인(n=732) 2005- 2008(4years)	short-term -PM _{2.5} -ultra fine particles (UFC) -SO -O ₃ -CO -NO -NO ₂ -blackcarbon (BC)	우울증 수준	- 우울증 증상과 교통 대기오염에 대한 장기 노출 또는 오염물질 농도의 단기적 변화 사이의 긍정적인 연관성을 발견하지 못함
Kim, J., & Kim, H. (2017) 한국 [34]	Cross- Sectional Study	한국 지역사회건강조사 (Community Health Survey)의 서울지역 25개 구(n=23,139) 2013	long-term -PM ₁₀	자기인지스 트레스수준 및 우울감	- PM ₁₀ 과 우울증상에 대해서는 경향성은 보이나 유의하지는 않음
Szyszkow icz, M. et al. (2016) 캐나다 [30]	Case- crossover study	캐나다 우울증으로 인한 응급실 방문(n=118,602 visits) 2004- 2011(8years)	short-term -O ₃ -NO ₂ -PM _{2.5} -SO ₂	우울증 응급실 방문	- 오존은 lag 0부터 8까지 모든 lag에서 남성과 여성 각각에 유의미한 우울증 증가와 연관 - SO ₂ 는 여성에게 7일지연 노출에서 연관 -PM _{2.5} 는 남성에게 1일지연 노출에서 연관
Cho, J. (2014) 한국 [33]	Time- stratified case- crossover study	한국 서울지역 우울증 응급실 방문(n=4985) 2005- 2009(5years)	short-term -SO ₂ -PM ₁₀ -O ₃ -NO ₂ -CO	우울증 응급실 방문	-당일노출(lag0)과 지연1일(lag1), 지연2일(lag2), 누적지연 0-1,0-2,0-3에서 오존을 제외하고 SO ₂ , PM ₁₀ , NO ₂ , CO 모두 우울증 응급실 방문과 양의 연관성을 보임 - CVD, 당뇨, 만성폐질환(COPD), 천식, 우울전력 중 하나라도 가진 경우 SO ₂ , PM ₁₀ , NO ₂ , CO이 우울증 응급실 방문위험과 양의 연관

대기오염이 자살, 우울증 및 정신질환에 미치는 영향

Kim, K. et al. (2016) 한국 [27]	Cohort study	한국 서울지역 거주 우울증 경험 없는 15-79세 (n=27,270) 2002-2010(9years)	long-term -PM _{2.5}	우울장애	- PM _{2.5} 증가에 따라 우울장애 위험이 유의하게 높은 것으로 나타났으며, 만성질환을 앓고 있는 환자의 경우 영향이 더욱 증가
Vert, C. et al. (2017) 스페인 [31]	Cross-sectional study	스페인 바르셀로나 거주 45-75세 성인(n=958) 2009-2014(6years)	long-term -PM _{2.5} -PM ₁₀ -PM coarse -NO ₂	불안 증세 우울증세 불안/우울관 련약물사용 경험	- 모든 대기오염 요소들이 우울증과 유의한 연관성을 지님 - 우울증 약물사용과도 유의한 연관성이 드러남

사용하게 될 경우 HR은 1.12(95% CI : 1.00, 1.25)로 우울증 발병위험이 유의하게 높아지는 것을 확인하였다[28].

한편 단기노출과 장기노출 영향을 함께 살펴 본 Pun, V. C. 등(2016)의 연구에서는 PM_{2.5}의 30일 이동평균농도 증가에 따른 우울증 증상의 OR은 1.16(95% CI : 1.05, 1.29)이라고 보고하였고, 이러한 결과가 단기와 장기의 모든 노출조건에서 유의한 것을 보였다[29].

위 결과들로 미루어볼 때 PM_{2.5}는 우울증 증상 및 발병, 그리고 우울증으로 인한 응급실 방문과 유의한 연관성을 가지는 것으로 보인다.

PM₁₀

PM₁₀이 우울증에 미치는 단기노출 영향에 대한 연구로서 Cho, J. 등(2014)의 연구는 우울증으로 인한 응급실 방문 당일로부터 3일 전까지의 PM₁₀ 평균농도(Lag 03)가 표준편차만큼 증가할 때 OR은 1.120(95% CI : 1.067, 1.176)임을 보고했다[33].

한편 PM₁₀의 장기노출 영향을 살펴본 Kim, J. & Kim, H. (2018)의 연구에서는 연평균 PM₁₀ 농도가 10µg/m³ 증가할수록 우울증상의 OR은 1.01(95% CI : 0.98, 1.05)로 우울증상에 관한 경향성은 보이지만 그 결과는 유의하지 않은 것으로 나타났다[34].

NO₂

NO₂의 우울증에 대한 단기노출 영향에 대해 Cho, J. 등(2014)의 연구에서는 우울증으로 인한 응급실 방문 당일로부터 2일 전까지의 NO₂ 평균농도(Lag 02)가 표준편차만큼 증가할 경우 OR이 1.082(95% CI : 1.033, 1.133)으로 나타났다[33].

한편 NO₂의 장기노출 영향을 조사한 Vert, C. 등(2017)의 연구에서는 10µg/m³ 증가할수록 우울

증이 발생할 OR이 2.00(95% CI : 1.37, 2.93)임을 밝혔다[31].

SO₂

SO₂의 우울증에 대한 단기노출 영향을 살펴본 연구에서 Szyszkowicz, M. 등(2016)은 여성일 경우 우울증 응급실 방문 7일 전의 SO₂ 농도(Lag 7)가 사분위수범위만큼 증가할 때 우울증으로 인한 응급실 방문 OR은 1.013(95% CI : 1.001, 1.025)임을 보였고[30], Cho, J. 등(2014)은 당일 부터 3일 전까지의 SO₂ 평균농도(Lag 03)가 표준편차만큼 증가하면 우울증으로 인한 응급실로 방문하는 OR이 1.103(95% CI : 1.043, 1.166)임을 보였다[33].

O₃

O₃의 단기노출과 우울증 사이의 연관성을 살펴본 연구로 Szyszkowicz, M. 등(2016)의 연구에서는 남성과 여성 각각 모두 당일부터 8일 전(Lag 0-Lag 8)까지 모든 지연에서 유의미하게 우울증으로 인해 응급실을 방문함을 밝혔다[30]. Cho, J. 등(2014)의 연구는 당일부터 2일 전의 평균 O₃ 농도(Lag 02)가 표준편차만큼 증가할수록 우울증으로 인해 응급실에 방문하게 될 OR은 1.059(95% CI : 0.995, 1.127)로 유의하지는 않지만 방향성은 양의 상관성을 띄고 있음을 언급하였다[33].

O₃의 장기노출 영향의 경우 Kioumourtoglou, M. A. 등(2017)의 연구에서는 우울증 진단 및 항우울제를 복용한 경우를 우울증으로 정의할 때 O₃가 10ppb만큼 증가할 경우 우울증이 발병할 HR은 1.06(95% CI : 1.00, 1.12)으로 PM_{2.5}와는 다르게 유의한 결과를 얻었다. 또한 항우울제 복용의 경우만을 우울증으로 정의할 경우 우울증이 발병할 HR은 1.12(95% CI : 1.00, 1.25)임을

Table 3. 기타 정신질환과 대기오염 관련 연구결과 요약

저자 (출판연도) 연구지역	연구디자인	샘플특성 /연구기간	노출변수	결과변수	연구결과
Lee, S. et al. (2019) 한국 [39]	Time-series study	한국 서울 80,634 정신질환 응급입원 청구기록 2003-2013(11years)	short-term -PM _{2.5}	정신질환으로 인한 응급 입원	- PM _{2.5} 는 정신질환으로 인한 응급 입원과 유의한 연관성을 보임 - two-pollutant 모델에서는 따뜻한 계절에만 연관성이 확인됨
Pun, V. C. et al. (2016) 미국 [29]	Longitudinal study	미국 국민 사회 생활, 건강 및 고령화 프로젝트의 57-85세의 고령 지역사회 거주민(n = 4,008) Wave1:2005.07-2006.03 Wave2:2010.08-2011.05	short-term / long-term -PM _{2.5}	우울증 및 불안증세 수준	- PM _{2.5} 의 증가에 따른 불안증세 수준의 연관성이 확인되었으며, 180일 이동평균 노출수준에서 위험이 가장 많이 증가 -연관성은 사회경제적상태 수준이 낮고 동반질환이 있는 경우 강화
Kim, J., & Kim, H. (2017) 한국 [34]	Cross-Sectional Study	한국 지역사회건강조사 (Community Health Survey)의 서울지역 25개 구(n=23,139) 2013	long-term -PM ₁₀	자기인지스트레스수준 및 우울감	- 연평균 PM ₁₀ 은 자기인지스트레스수준과 유의한 연관성을 보임
Liu, W., et al. (2018) 중국 [35]	Cross-Sectional Study	중국 장쑤성 전국 청소년 건강 위험 행동 조사 참여 청소년 (n=54,923) 2013	long-term -PM _{2.5} -CO -NO ₂ -O ₃ -SO ₂	의도적자해(NSSI; Non-suicidal self-injury)	- PM _{2.5} 와 O ₃ 및 CO의 연간이동평균 노출수준의 증가가 의도적 자해의 증가와 유의한 연관성을 보임 - NO ₂ 와 SO ₂ 는 유의한 연관성을 보이지않음 - CO와 O ₃ 는 의도적자해와 비선형관계를 보임
Sheffield, P. E., et al. (2018) 미국 [37]	Cohort study	미국 임신 37주차 이상 산모 (n=557) 2002-2007(6years)	short-term -PM _{2.5}	쾌감상실 (Anhedonia)	- 임신 4~6개월 기간에서 높은 PM _{2.5} 는 높은 쾌감상실 점수와 유의미한 연관성이 있음 -인종으로 층화할 경우, 임신 중기의 PM _{2.5} 노출은 흑인 여성들 사이에서 쾌감상실 점수가높음
Jung, C.-R. et al. (2013) 대만 [38]	Cohort study	대만 3살 이하의 유아(n=49,073) 2000-2010(11years)	long-term -CO -NO ₂ -SO ₂ -PM ₁₀ -O ₃	자폐 범주성 장애 (ASD; Autism spectrum disorders)	- ASD 위험(HR)의 증가는 O ₃ , CO, NO ₂ , SO ₂ 의 증가와 연관이 있음
Power, M. C. et al. (2015) 미국 [36]	Cohort study	미국 간호사 건강조사 (Nurses' Health Study)의 30-55세 기혼 간호사 (n=71,271) 1988-2004(17years)	short-term / long-term -PM _{2.5} -PM ₁₀	불안감 점수	- PM _{2.5} 는 모든 기간에서 불안감 점수의 증가와 유의한 것으로 나타남 - 장기노출(1988-2003년기간 평균)보다 단기노출(1달, 3달, 6달, 1년평균 농도)의 영향이 더욱 유의하게 나타남
Vert, C. et al. (2017) 스페인 [31]	Cross-sectional study	스페인 바로셀로나 거주 45-75세 성인(n=958) 2009-2014(6years)	long-term -PM _{2.5} -PM ₁₀ -PM coarse -NO ₂	불안 증세 우울증세 불안/우울관련약물사용 경험	- 불안증세와는 유의한 연관성을 보이지 않음

보고하였다[28].

CO

CO의 우울증에 대한 단기노출 영향을 조사한 연구로 Cho, J. 등(2014)은 CO의 당일부터 2일 전까지의 평균농도(Lag 02)가 표준편차만큼 증가하면 우울증 응급실 방문 OR은 1.077(95% CI : 1.026, 1.130)으로[33] CO의 농도와 우울증으로 인한 응급실 방문은 양의 상관관계가 있다는 결과를 보고하였다.

대기오염과 기타 정신질환과의 연관성

대기오염과 기타 정신질환은 총 8개의 문헌을 통해 관계를 살펴보았다[Table 3]. 6개의 문헌에서 PM_{2.5}[29, 31, 35-37], 4개의 문헌에서 PM₁₀[31, 34, 36, 38], 3개의 문헌에서 NO₂[31, 35, 38], 2개의 문헌에서 SO₂, O₃, CO[35, 38]의 각 오염물질 노출과 기타 정신질환과의 연관성을 살펴보았다.

PM_{2.5}

PM_{2.5}의 기타 정신질환에 대한 단기노출 영향에 대한 연구로서 Lee, S. 등(2019)의 연구에서는 정신질환으로 인한 응급입원을 한 당일과 하루 전의 평균 PM_{2.5}농도(Lag 01)의 10µg/m³ 증가에 따른 RR은 1.008(95% CI : 1.001, 1.015)이라고 보고하였고, 특히 PM_{2.5}농도가 0~30µg/m³일 때의 노출-반응 곡선(dose-response curve)에서 낮은 농도에서도 정신질환의 위험이 존재함을 시사했다[39]. Sheffield, P. E. 등(2018)은 임신 4~6개월에 해당하는 임신부의 높은 폐감상실 점수와 PM_{2.5} 농도는 유의미한 연관성이 있으며, 특히 임신 중기의 흑인여성들에게 폐감상실점수가 높은 것으로 보고하였다[37].

한편 PM_{2.5}의 장기노출 영향에 대해서 Pun, V. C. 등(2016)은 PM_{2.5}의 180일 이동평균 농도가 증가함에 따른 불안증세의 OR은 1.61(95% CI : 1.35, 1.92)이라고 보고하였고[29], Liu, W. 등(2018)은 1년 이동평균 농도가 10µg/m³ 증가하면 의도적 자해(NSSI)에 대한 OR이 13.9% 증가하며 특히 남고생이 취약함을 밝혔다[35].

PM_{2.5}의 단기 및 장기노출 영향을 함께 살펴본 Power, M. C. 등(2015)의 연구에서는 이전 1달과 1년 동안의 PM_{2.5} 농도평균에 따른 불안감 점수의 OR은 각각 1.12(95% CI : 1.06, 1.19), 1.15(95% CI : 1.06, 1.26)이고 장기노출 보다 단기노출의 영향이 더욱 유의하게 나타났다고 보고하였다[36].

이러한 결과를 종합할 때 PM_{2.5}의 증가는 기

타 정신질환의 위험 증가와 관련이 있는 것으로 보인다.

PM₁₀

PM₁₀의 장기노출 영향을 살펴본 Kim, J. & Kim, H. (2018)의 연구에서 연평균 PM₁₀ 농도가 10 µg/m³ 증가할수록 자기인지스트레스 수준의 OR은 1.02(95% CI : 1.00, 1.04)로 PM₁₀농도는 자기인 지스트레스 수준과 양의 상관성을 띄고 있음을 보고하였다[34].

NO₂ & SO₂

NO₂와 SO₂의 장기노출에 따른 기타 정신질환과의 연관성에 대한 연구에서 Jung, C. R. 등(2014)은 3세 이하인 유아들이 NO₂, SO₂에 노출이 되어 자폐범주성장애가 될 HR은 각각 4.40(95% CI : 3.31, 5.85), 1.17(95% CI : 1.09, 1.27)임을 제시하였다[38]. 한편 Liu, W. 등(2018)은 NO₂와 SO₂의 장기노출과 청소년들의 의도적 자해로의 영향은 유의하지 않음을 보고하였다[35].

O₃ & CO

O₃와 CO의 장기노출에 따른 기타 정신질환과의 연관성은 Liu, W. 등(2018)의 연구에서는 O₃, CO의 연간 이동평균 농도가 10µg/m³와 0.1µg/m³씩 증가하면 의도적 자해의 OR은 각각 10.5%, 4.8% 증가함을 밝혔고[35], Jung, C. R. 등(2014)의 연구는 O₃, CO의 농도가 증가함에 따른 자폐범주성장애의 HR은 각각 1.59(95% CI : 1.42, 1.79), 1.37(95% CI : 1.31, 1.44)임을 보고하였다[38].

Discussion

많은 연구들이 대기오염과 자살, 우울증 및 정신질환과의 관련성을 제시하였다. 먼저 대기오염이 자살에 미치는 영향은 9개의 모든 연구에서 PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂, CO 중 최소 2가지 이상의 대기오염 요소들이 자살에 영향을 미치고 있다는 결과를 보고하였으며, 이러한 결과들은 대기오염이 자살에 영향을 미친다는 근거를 제공하고 있다. 또한 PM₁₀의 경우 1개를 제외한 모든 연구에서 고려되어 현재 가장 대표적인 대기오염 요소임을 짐작케 한다[16, 19, 20, 22-26]. 결과를 종합하면 PM_{2.5}의 경우 5개의 연구 중 3개[16, 19, 21]의 논문에서 자살에 유의한 영향을 보였으며, PM₁₀은 8개의 연구 중 7개[19, 20, 22-26]에서 유의한 영향을 확인하였다. O₃의 경우 3개의 연구 중 2개[23, 24], NO₂의 경우 7개의 연구 중 6개[16, 20-22, 25, 26], SO₂의 경우 7개의 연구 중 5개[20-22, 25, 26] 마지막으로 CO

의 경우 2개의 연구 중 1개[22]에서 각 대기오염이 자살에 유의한 영향을 보였다. 즉 CO를 제외하고는 대기오염이 자살에 미치는 영향은 비교적 명백해 보인다. 하지만 다수의 연구에서 대기오염이 자살에 미치는 영향의 경우 계절성이 매우 중요한 요인임을 보고하였는데[16, 21-23, 25], 이에 대한 결과는 아직까지 서로 엇갈리는 것으로 보인다. Lin, G-Z. 등(2016)과 Szyszkowicz, M. 등(2010)은 유의한 대기오염의 영향이 시원하거나 추운 계절에서 발견되었고 따뜻한 계절에는 발견되지 않은 것으로 보고하였으나[22, 25], Ng, C. F. S. 등(2016)과 Casas, L. 등 (2017)의 연구에서는 여름철에 자살의 유의미한 증가와 연관을 보이는 것으로 보고하여[21, 23] 대조적인 양상을 띄었다. 또한 Bakian, A. V. 등(2015)의 연구에서는 NO₂가 봄/가을 환절기에 자살사망에 유의한 영향을 미치며, PM_{2.5}의 경우 봄에 유의한 연관성을 보인다는 결과를 보고하여[16] 계절에 따른 대기오염의 자살사망과의 영향을 아직까지는 단정하기 힘들어 보인다.

대기오염이 우울증에 미치는 영향의 경우 9개의 논문 중 7개의 논문에서 최소 1개 이상의 대기오염 물질에서 유의한 영향을 보고하였으나[27-31, 33], 2개의 논문에서는 대기오염이 우울증과 관련이 없음을 보였다[32, 34]. 대기오염별로는 PM_{2.5}의 경우 6개의 연구 중 5개[27-31], PM₁₀의 경우 3개의 연구 중 2개[31, 33]로 PM_{2.5}의 영향이 우울증에 보다 확실한 것으로 나타났다. 한편 O₃의 경우 4개의 연구 중 2개[28, 30], NO₂의 경우 4개의 연구 중 2개[31, 33], SO₂의 경우 3개의 연구 중 2개[30, 33], CO의 경우 2개의 연구 중 1개[33]로 비록 9개의 연구 중 7개의 연구에서 대기오염의 우울증에 대한 영향을 보고하기는 하였으나 각 개별 대기오염 단위로 연구 결과를 살펴볼 경우 PM_{2.5}를 제외한 나머지 대기오염 요소들은 추가 검토가 필요해 보인다.

기타 정신질환의 경우 각 세부 질환별 연구수가 부족하여 세부 질환별로 대기오염의 영향을 단정하는 것은 어려우나 본 연구에서 한 가지 확실하게 드러난 점은 PM_{2.5}의 영향이 정신질환 응급입원, 불안장애, 의도적자해, 쾌감상실 등 광범위한 정신질환 영역에서 영향을 미치고 있다는 점이다[29, 35-37, 39]. 이는 미세먼지가 신경계의 교란 등 기저영역에서 영향을 미칠 수 있음을 암시하게 한다. Power, M. C. 등(2011)과 Tallon, L. A. 등(2017)의 연구에서는 대기오염이

중추신경계에 영향을 미침으로서 인지기능을 저하시킬 수 있음을 보고하였으며[40, 41], Calderón-Garcidueñas, L. 등(2013)은 문헌리뷰를 통해 주변 대기오염으로 인해 어린이에게 알츠하이머와 파킨슨병의 주요 특징이 관찰된다고 보고하였다[42]. 즉 대기오염이 중추신경계 등 인지, 정신, 감정과 관련된 기관 또는 기능에 직접적인 영향을 미침으로써 다양한 정신질환을 야기하는 중요한 위험요인으로 작용하고 있을 수 있다. 따라서 이와 관련된 생물학적 연구도 다방면에서 수행되어야 할 것으로 보인다. 나아가 정신질환이 있는 사람들이 대기오염의 건강 영향에 더 취약하다는 Dales, R. E., & Cakmak, S. (2016)의 보고는 대기오염으로 인한 악순환이 반복될 수 있음을 뜻하며, 보건학적 관점에서 대기오염이 지속적으로 관심을 가지고 주의의 기울여야 하는 중요한 영역임을 보여준다[43].

자살이나 우울증 등 정신질환은 그 영향요인이 매우 복잡하여 단순한 관계로 그 영향을 추론하기는 힘들다. 본 연구 또한 생물학적 요인 등 중요한 영향요인들을 고려한 연구를 함께 살펴볼 수 없는 한계가 있으며, 향후 연구에서 이에 대한 기저 메커니즘을 규명하는 것도 필요해 보인다. 또한 각 연구에서 진단의 애매모호함이나 보정 공변량의 차이, 노출 평가 방법에서의 차이, 연구대상자의 차이 등 여러가지 연구의 한계점들이 내재하고 있기 때문에 향후 이를 고려한 보다 심층적인 메타연구가 후속될 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 대기오염이 자살 또는 정신질환에 미치는 연관성을 일부 확인하였으며, 이러한 결과가 미래 환경정책을 수립하는 데 하나의 중요한 근거가 될 수 있기를 기대한다.

References

1. U.S. Environmental Protection Agency, Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter. 2019.
2. Cohen, A.J., et al., Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, 2017. 389(10082): p. 1907-1918.

3. Künzli, N., et al., Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet*, 2000. 356(9232): p. 795-801.
4. Stieb, D.M., et al., Ambient air pollution, birth weight and preterm birth: a systematic review and meta-analysis. *Environmental research*, 2012. 117: p. 100-111.
5. Mills, N.L., et al., Adverse cardiovascular effects of air pollution. *Nature Reviews Cardiology*, 2009. 6(1): p. 36.
6. Brook, R.D., et al., Particulate matter air pollution and cardiovascular disease. *Circulation*, 2010.
7. Chen, T.-M., et al., Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects. *The American journal of the medical sciences*, 2007. 333(4): p. 249-256.
8. Atkinson, R., et al., Long-term exposure to ambient ozone and mortality: a quantitative systematic review and meta-analysis of evidence from cohort studies. *BMJ open*, 2016. 6(2): p. e009493.
9. World Health Organization, Preventing suicide: A global imperative. 2014: World Health Organization.
10. World Federation for Mental Health, DEPRESSION: A Global Crisis. 2012.
11. Murray, C.J., et al., Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The lancet*, 2012. 380(9859): p. 2197-2223.
12. Tondo, L., G. Isacson, and R. Baldessarini, Suicidal behaviour in bipolar disorder: risk and prevention. *CNS drugs*, 2003. 17(7): p. 491-511.
13. Łopuszańska, U. and M. Makara-Studzńska, The correlations between air pollution and depression. *Current Problems of Psychiatry*, 2017. 18(2): p. 100-109.
14. Petridou, E., et al., A role of sunshine in the triggering of suicide. *Epidemiology*, 2002. 13(1): p. 106-109.
15. Nicholls, N., C.D. Butler, and I. Hanigan, Inter-annual rainfall variations and suicide in New South Wales, Australia, 1964–2001. *International Journal of Biometeorology*, 2006. 50(3): p. 139-143.
16. Bakian, A.V., et al., Acute air pollution exposure and risk of suicide completion. *American journal of epidemiology*, 2015. 181(5): p. 295-303.
17. Block, M.L. and L. Calderón-Garcidueñas, Air pollution: mechanisms of neuroinflammation and CNS disease. *Trends in neurosciences*, 2009. 32(9): p. 506-516.
18. Levesque, S., et al., Air pollution & the brain: subchronic diesel exhaust exposure causes neuroinflammation and elevates early markers of neurodegenerative disease. *Journal of neuroinflammation*, 2011. 8(1): p. 105.
19. Kim, C., et al., Ambient particulate matter as a risk factor for suicide. *American journal of psychiatry*, 2010. 167(9): p. 1100-1107.
20. Kim, Y., et al., Air pollution and suicide in 10 cities in Northeast Asia: a time-stratified case-crossover analysis. *Environmental health perspectives*, 2018. 126(3): p. 037002.
21. Ng, C.F.S., et al., Ambient air pollution and suicide in Tokyo, 2001–2011. *Journal of affective disorders*, 2016. 201: p. 194-202.
22. Szyszkowicz, M., et al., Air pollution and emergency department visits for suicide attempts in Vancouver, Canada. *Environmental health insights*, 2010. 4: p. EHI. S5662.
23. Casas, L., et al., Does air pollution trigger suicide? A case-crossover analysis of suicide deaths over the life span. *European journal of epidemiology*, 2017. 32(11): p. 973-981.
24. Kim, Y., et al., Association between air pollution and suicide in South Korea: a nationwide study. *PLoS one*, 2015. 10(2): p. e0117929.

25. Lin, G.-Z., et al., The impact of ambient air pollution on suicide mortality: a case-crossover study in Guangzhou, China. *Environmental health*, 2016. 15(1): p. 90.
26. Min, J.-y., H.-J. Kim, and K.-b. Min, Long-term exposure to air pollution and the risk of suicide death: A population-based cohort study. *Science of the total environment*, 2018. 628: p. 573-579.
27. Kim, K.-N., et al., Long-term fine particulate matter exposure and major depressive disorder in a community-based urban cohort. *Environmental health perspectives*, 2016. 124(10): p. 1547-1553.
28. Kioumourtzoglou, M.-A., et al., The association between air pollution and onset of depression among middle-aged and older women. *American journal of epidemiology*, 2017. 185(9): p. 801-809.
29. Pun, V.C., J. Manjourides, and H. Suh, Association of ambient air pollution with depressive and anxiety symptoms in older adults: results from the NSHAP study. *Environmental health perspectives*, 2016. 125(3): p. 342-348.
30. Szyszkowicz, M., et al., Air pollution and emergency department visits for depression: a multicity case-crossover study. *Environmental health insights*, 2016. 10: p. EHI. S40493.
31. Vert, C., et al., Effect of long-term exposure to air pollution on anxiety and depression in adults: A cross-sectional study. *International journal of hygiene and environmental health*, 2017. 220(6): p. 1074-1080.
32. Wang, Y., et al., Ambient air pollution and depressive symptoms in older adults: results from the MOBILIZE Boston study. *Environmental health perspectives*, 2014. 122(6): p. 553-558.
33. Cho, J., et al., Air pollution as a risk factor for depressive episode in patients with cardiovascular disease, diabetes mellitus, or asthma. *Journal of affective disorders*, 2014. 157: p. 45-51.
34. Kim, J. and H. Kim, Demographic and environmental factors associated with mental health: A cross-sectional study. *International journal of environmental research and public health*, 2017. 14(4): p. 431.
35. Liu, W., et al., Air pollution associated with non-suicidal self-injury in Chinese adolescent students: A cross-sectional study. *Chemosphere*, 2018. 209: p. 944-949.
36. Power, M.C., et al., The relation between past exposure to fine particulate air pollution and prevalent anxiety: observational cohort study. *bmj*, 2015. 350: p. h1111.
37. Sheffield, P.E., et al., Association between particulate air pollution exposure during pregnancy and postpartum maternal psychological functioning. *PLoS one*, 2018. 13(4): p. e0195267.
38. Jung, C.-R., Y.-T. Lin, and B.-F. Hwang, Air pollution and newly diagnostic autism spectrum disorders: a population-based cohort study in Taiwan. *PLoS one*, 2013. 8(9): p. e75510.
39. Lee, S., et al., Short-term PM_{2.5} exposure and emergency hospital admissions for mental disease. *Environmental research*, 2019. 171: p. 313-320.
40. Power, M.C., et al., Traffic-related air pollution and cognitive function in a cohort of older men. *Environmental health perspectives*, 2010. 119(5): p. 682-687.
41. Tallon, L.A., et al., Cognitive impacts of ambient air pollution in the National Social Health and Aging Project (NSHAP) cohort. *Environment international*, 2017. 104: p. 102-109.
42. Calderón-Garcidueñas, L., et al., Early Alzheimer's and Parkinson's disease pathology in urban children: friend versus foe responses—it is time to face the evidence. *BioMed research international*, 2013. 2013.
43. Dales, R.E. and S. Cakmak, Does mental health status influence susceptibility to the physiologic effects of air pollution? A population based study of Canadian children. *PLoS one*, 2016. 11(12): p. e0168931.