

미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강영향 예측 및 평가: 심혈관질환과 당뇨병을 중심으로

Combined effects of air pollution and physical activity
on cardiovascular disease and diabetes

2020.10

김성래
(특정주제연구자)

제 출 문

재단법인 숲과나눔 이사장 귀하

본 보고서를 “미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강영향 예측 및 평가: 심혈관질환과 당뇨병을 중심으로”의 최종 연구 결과보고서로 제출합니다.

2020년 10월 30일

연구원 : 김성래(특정주제연구자)

※ 본 보고서의 내용은 연구자의 의견이며, (재)숲과나눔의 공식적인 견해와는 다를 수 있습니다.

결과보고서 초록

연구원	김성래	구분	()박사후펠로우십 (○)특정주제연구자
연구제목	한글	미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강영향 예측 및 평가: 심혈관질환과 당뇨병을 중심으로	
	영문	Combined effects of air pollution and physical activity on cardiovascular disease and diabetes	
연구기간	2019. 10. 01. ~ 2020. 9. 30.	연구비	총 12,000,000 원
색인어	한글	미세먼지, 운동, 심혈관질환, 당뇨병, 보건역학	
	영문	Particulate matter, Physical activity, Cardiovascular disease, Diabetes, Epidemiology	

○ 결과보고서 요약

- 본 연구는 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강영향 예측 및 평가를 목적으로 하며, 심혈관질환과 당뇨병을 중심으로 20-30대 젊은 성인 인구와 58세 이상 고령 인구를 대상으로 연구를 진행함
- 실외운동을 수행할 때 추가적으로 흡입하는 미세먼지로 인한 잠재적 악영향과 운동 그 자체로 인한 긍정적 영향 중 질병 발생에 있어 어떤 영향이 더 큰지 살펴보고자 함
- 국민건강보험공단 맞춤형 코호트 자료를 이용한 20-30대 젊은 성인 및 58세 이상 고령 인구와 미세먼지 측정 정보가 연계된 보건의료-환경 빅데이터 연구 환경을 구축하고, 이를 기반으로 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환 및 당뇨병에 미치는 영향을 분석함
- 분석 결과, 20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구에서 모두 전반적으로 미세먼지의 농도에 관계 없이 국제적 운동 가이드라인의 권장량 수준 정도까지는 운동을 많이 할수록 심혈관질환 발생 위험도가 감소하는 것이 확인됨. 다만 20-30대 젊은 성인의 경우 높은 미세먼지 노출에서는 권장량 이상으로 운동했을 때 위험감소 효과가 희석되는 경향이 보임. 당뇨의 경우에는 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지 농도에 관계 없이 운동의 유의한 위험감소 효과를 확인할 수 있었으며, 20-30대 젊은 성인에서는 특별히 유의한 관련성이 관찰되지 않음
- 결론적으로 미세먼지 농도에 관계 없이 운동 가이드라인의 권장량 수준까지는 운동량을 늘리는 것이 심혈관질환 및 당뇨 발생을 예방할 수 있는 방법임을 제안함.

요 약 문

I. 제목

미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강영향 예측 및 평가: 심혈관질환과 당뇨병을 중심으로

II. 연구의 목적 및 필요성

2013년, WHO (세계보건기구, World Health Organization)의 International Agency for Research on Cancer (IARC)는 미세먼지(particulate matter)를 발암물질로 지정하면서 그 심각성을 공식적으로 인정하였다. 실제로 과거부터 현재까지 수많은 연구들을 통해 미세먼지와 초미세먼지의 악화가 심혈관, 호흡기, 당뇨병 등의 여러 질환 발생과 사망을 증가시킨다는 증거들이 밝혀져 왔다. 특히 심혈관질환과 당뇨병의 경우 전 세계적으로 중요한 주요 사망원인으로 손꼽히는 만큼, 미세먼지는 공중보건의 전반에 큰 악영향을 끼치고 있다. 한국 주요 도시의 미세먼지 및 초미세먼지의 연평균 농도는 과거에 비해 점점 감소하는 추세이긴 하나, 여전히 WHO의 권고기준을 훨씬 상회하며 OECD (경제협력개발기구, Organization for Economic Co-operation and Development) 국가들의 주요 도시들에 비해 높은 농도를 기록하고 있다. 즉 우리나라, 한국은 미세먼지의 악영향으로부터 자유롭지 못한 환경에 처해있다.

한편, 운동은 과거부터 여러 연구를 통해 다양한 질병으로부터의 예방 효과와 전반적인 건강상 이득 효과(사망, 심뇌혈관질환, 고혈압, 당뇨, 다양한 암종[폐암, 방광암, 유방암, 대장암, 위암 등], 우울증, 치매, 뼈 건강 등)가 큰 것으로 널리 알려져 왔다. 그러나 이러한 운동의 건강상 이득 효과에도 불구하고 여전히 많은 성인 인구는 운동에 참여하지 않고 있어 다양한 연구와 정책들에서 성인 인구의 운동량 증가를 격려하고 있는 상황이다. 이렇게 운동을 하지 않는 이유에는 여러 요인들이 있겠으나, 중요한 요인 중 하나는 바로 대기오염, 즉 미세먼지로 인한 건강 위협의 걱정 때문일 것이다. 대다수의 운동은 실외에서 이루어지게 되는데, 실외운동의 경우 자연스럽게 미세먼지에 노출될 수밖에 없다. 특히 우리나라와 같이 미세먼지가 중요한 환경 문제로 대두되고 있는 지역 환경의 경우 그 위험도가 더욱 강조될 수 있는 상황이라 볼 수 있다. 이러한 상황에서 가장 중요한 것은, 운동을 했을 때 추가적으로 흡입하는 미세먼지로 인한 잠재적 악영향과 운동 그 자체로 인한 긍정적 영향 중 질병 발생에 있어 어떤 영향이 더 큰지 밝혀내는 것이라고 할 수 있겠다.

현재까지 전 세계적으로도 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강 영향 및 질병 발생 위험도를 분석한 연구는 매우 부족한 상황이다. 이에 미세먼지와 운동의 혼합효과가 건강에 큰 위협을 주는 대표적 질병인 심뇌혈관질환 및 당뇨병에 미치는 영향을 분석하는 연구의 필요성이 더욱 강조되고 있다. 따라서 본 연구에서는 연령에 따라 인구 집단 (20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구)을 나누어 각각에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가

심혈관질환 및 당뇨병에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강 영향에 대해 살펴보고자 했기 때문에 미세먼지를 어떻게 추정하고 정의하여 데이터를 수집할 것인지, 그리고 어떠한 인구 기반 데이터베이스를 사용할 것인지가 핵심이었다.

이에 첫 번째로, 미세먼지의 추정 및 정의의 경우에는 대중에게 공개된 미세먼지 측정 자료를 활용하였다. 즉, 미세먼지 (Particulate matter 10; PM10) 및 초미세먼지 (Particulate matter 2.5; PM2.5) 자료는 국내에 제공되는 공개된 정보를 활용하여 전국 및 지역별 미세먼지 수치 자료를 수집하였다. 대표적인 예로, 전국 각 지역에 배치된 측정소를 기반으로 하여 국내 기상청의 미세먼지 측정치를 제공하는 국가대기오염정보관리시스템 (NAMIS)이 있으며, 수집된 자료는 에어코리아 (www.airkorea.or.kr)에서 확인할 수 있다. 이러한 시스템과 환경부에서 제공하는 자료를 이용하여 수집한 미세먼지 정보를 전국적 정보와 지역 정보로 나누어서 처리하고, 최종적으로 각 개인의 거주 지역을 기반으로 개인별 누적 노출량을 추정하여 지역별 차이 (시군구 단위로 세분화)에 따른 분석을 진행하였다. 국가대기오염정보관리시스템을 이용하면 전국 곳곳에 배치된 약 300개에 달하는 미세먼지 측정소의 데이터를 얻을 수 있어 대부분 지역의 미세먼지 농도를 알 수 있다는 상당한 장점이 있다. 그럼에도 불구하고 만약 측정소가 없는 지역이 있을 경우에는, 해당 지역에서 가장 가까운 인근 측정소의 미세먼지 농도 수치를 이용하여 추정하였다. 이렇게 산출한 개인별 미세먼지 노출량을 낮음/중간, 높음 (기준: 70백분위 농도 수치)으로 카테고리화 하여, 미세먼지 및 초미세먼지의 수준이 심혈관질환 및 당뇨병 발생 및 위험도에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고자 하였다.

두 번째로, 인구기반 데이터 베이스(DB)의 경우에는 국민건강보험공단에서 제공하는 맞춤형 데이터 베이스를 활용하였다. 본 연구에서 사용한 7대 대도시¹⁾ 20-30대 젊은 성인 코호트DB 및 58세 이상 고령 인구 코호트DB는 대규모 건강보험 청구자료로써, 국민건강보험공단의 전국민데이터 베이스에서 7대 대도시에 거주하는 모든 20-30대 인구나 58세 이상 인구를 추출한 코호트 DB이다. 즉, 각 연령대의 인구에 대한 우수한 대표성을 보유하고 있다고 봐도 무방하며, 특히 대도시 거주 인구 집단을 대표한다고 볼 수 있다. 이러한 코호트DB에는 각 대상자에 대해 개인 단위의 성별, 연령, 소득수준 등과 같은 사회경제학적 정보는 물론, 건강검진을 받은 대상자의 경우 운동량, 흡연 여부, 음주량 등과 같은 건강행태와 혈액검사와 같은 실험실 검사를 통해 측정된 건강 상태 정보 (혈압, 혈당, 콜레스테롤, 크레아티닌 수치 등)까지 포함되어 있다. 따라서 본 연구에서는 2009년과 2010년 사이에 건강검진을 받은 대상자를 추출하여 해당 건강검진 당시 시행했던 설문조사를 바탕으로 운동량을 계산하였다. 그리고 이를 국제적 운동 가이드라인을 기준 (1주일 동안 150-300분

1) 7대 특, 광역시: 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시, 부산광역시

이상의 중간 강도의 운동을 하거나 75-150분 이상의 격렬한 강도의 운동을 하도록 권장, 혹은 500-1000 신진대사해당치[MET]-분/주²⁾ 정도의 운동을 하도록 권장)으로 카테고리화 하여 운동 수준에 따라 연구 대상자들을 배정하였다. 또한, 코호트DB를 기반으로 한 각 개인의 거주 정보(시군구 단위)를 활용하여 앞서 구축해 놓은 미세먼지 데이터와 연계한 후, 개인별 미세먼지 노출량을 추정하여 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환 및 당뇨병에 미치는 영향을 보고자 하였다. 특히, 20-30대 젊은 성인에서는 운동량 변화에 따른 미세먼지와 혼합효과도 살펴보고자 하였으므로, 2011년과 2012년 사이에 건강검진을 받은 대상자도 연구 설계에 따라 추가적으로 추출하여 분석에 이용하였다.

통계분석 방법으로는 추적관찰이 가능한 종단 코호트 연구(longitudinal cohort study)에서 주로 활용되는 콕스비례위험회귀분석 (Cox proportional hazard regression analysis)을 사용하였으며, 이를 토대로 미세먼지와 운동의 혼합효과가 야기하는 심혈관질환 및 당뇨병의 발생 위험비 (Hazard ratio)와 95% 신뢰구간 (Confidence interval)을 산출하였다. 이 때, 각 질환 발생에 영향을 미칠 수 있는 다양한 교란변수 (나이, 성별, 소득 수준, 흡연 여부, 음주량, 혈압, 혈당, 콜레스테롤 등)들을 보정하여 결과의 신뢰성을 높이고자 하였다.

IV. 연구 결과

먼저 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환과 당뇨병에 미치는 영향을 약 8년간의 추적관찰 기간을 통해 분석한 결과, 심혈관질환의 경우 낮은 농도의 미세먼지에 노출되었을 때는 PM10이든 PM2.5든 운동을 하지 않는 군에 비해 운동을 많이 하는 군에서 심혈관질환 발생 위험도가 유의하게 감소하는 것으로 확인되었다. 다만 높은 농도의 미세먼지에 노출되었을 때는 PM10과 PM2.5 모두에서 운동의 위험감소 효과가 약간 약화되는 역-J 모양 혹은 J 모양의 경향이 도출되었는데, 이는 통계적으로 유의하지 않았기에 많은 운동량이 적어도 심혈관질환 발생 위험도를 증가시키지는 않음을 시사하였다. 또한 통계적으로 약간 희석되긴 하였으나, 국제적 운동 가이드라인 권장량 수준까지의 운동량은 높은 농도의 미세먼지에 노출되더라도 심혈관질환 발생 위험도를 낮추는 경향성을 보였다. 운동량 변화에 따른 건강 영향을 살펴봤을 때도 마찬가지로 미세먼지 농도에 관계 없이 운동 가이드라인 권장량 수준까지는 운동량을 늘렸을 때 심혈관질환 발생 위험도가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 반대로 운동량이 감소했을 때는 심혈관질환 발생 위험도가 증가하는 것으로 나타났다. 다만 높은 농도의 미세먼지에 노출되었을 때는 운동 가이드라인 권장량 이상으로 운동량을 늘렸을 때 위험감소 효과가 약화되는 경향이 보였는데, 이 역시 통계적으로 유의하진 않았기에 많은 운동량 증가가 심혈관질환 발생 위험도를 적어도 유의하게 증가시키지는 않음을 시사하였다. 반면, 20-30대 젊은 성인에서는 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향에 대해서는 특별하게 유의한 연관성이 관찰되지 않았다.

2) 신진대사해당치 (Metabolic Equivalent Task; MET)는 휴식 중인 일반적 상태일 때 몸에서 필요로 하는 에너지 및 산소의 양으로, 사용하는 에너지를 산소섭취량으로 환산하는 단위이다.

다음으로 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관 질환과 당뇨병에 미치는 영향을 약 6년간의 추적관찰 기간을 통해 분석한 결과, PM10이든 PM2.5든 미세먼지 노출 농도에 관계 없이 운동을 하지 않는 군에 비해 운동을 많이 하는 군에서 심혈관질환 및 당뇨병 발생 위험도가 모두 유의하게 감소하는 것으로 확인되었다. 다만, 이 중 당뇨 발생에 있어서는 운동의 위험감소 효과가 높은 농도의 미세먼지에 노출되었을 때 약간 희석되는 경향성이 보였으나, 그럼에도 여전히 통계적으로 유의한 위험감소 효과가 관찰되었다. 심혈관질환의 경우에는 미세먼지 농도가 높더라도 위험감소 효과가 희석되는 것 없이 위험감소 효과가 운동량에 유의하게 비례함을 확인할 수 있었다.

요약하면 미세먼지의 노출 농도에 관계 없이 국제적 운동 가이드라인의 권장량 수준 정도까지는 운동을 많이 할수록 심혈관질환 발생 위험도가 감소한다는 것을 20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구에서 모두 확인할 수 있었으며³⁾, 당뇨의 경우에는 20-30대 젊은 성인에서는 특별한 연관성을 관찰할 수 없었으나 58세 이상 고령 인구에서 운동의 유의한 당뇨병 위험감소 효과를 확인할 수 있었다. 그동안 미세먼지가 심혈관질환이나 당뇨병 발생에 악영향을 끼친다는 점, 반대로 운동은 질환 발생에 예방 효과를 가진다는 점은 잘 알려져 있었으나, 본 연구주제와 같이 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환 및 당뇨병 발생에 미치는 영향에 대해서는 최초로 연구가 진행되었다는 점에서 큰 의의가 있다. 특히, 20-30대 젊은 성인의 경우에는 운동의 필요성이 더욱 강조되는 연령대임에도 불구하고, 전 세계적으로도 젊은 성인에 대한 건강정보 데이터가 매우 부족하여 운동 관련 연구가 드문 상황이다. 따라서 본 연구가 더욱 의미를 가진다고 볼 수 있다.

결론적으로, 미세먼지 농도에 관계없이 적어도 운동량을 줄이지 않는 것이 중요하겠으며, 어느 연령대든 운동 가이드라인 권장량 수준까지는 운동량을 늘리는 것이 심혈관질환 및 당뇨 발생을 예방할 수 있는 방법 중 하나임을 제안해볼 수 있겠다.

V. 연구 결과의 활용 계획

향후 미세먼지 농도에 따른 외부활동 권장 여부 등에 대한 가이드라인을 정책적으로 결정함에 있어 본 연구 결과가 유용하게 활용될 수 있으리라 기대한다. 현재 국내의 권장 정책으로는 미세먼지가 ‘나쁨’ 수치일 경우 가급적 외출을 자제하도록 권장하고 있으며, 불가피하게 외출을 해야할 경우에는 보건용 마스크를 사용하도록 권장하고 있다. 그러나 사실 이러한 정책이 결정된 기저에는 뚜렷한 근거기반 자료가 없다는 것이 문제이다.

따라서 본 연구를 기점으로 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강 영향에 대해 국내 인구와 자료를 이용한 여러 연구들이 진행될 것으로 기대하며, 이러한 근거 자료들이 쌓인다면 추후 신뢰도가 높은 정책을 제안할 수 있을 것이고 결국 국민 건강의 향상으로 이어질 것으로 기대한다.

3) 58세 이상 고령 인구에서는 권장량 이상을 하더라도 위험감소 효과가 유의하게 유지되었다.

목 차

- I. 서론 9
 - 1. 연구의 배경과 필요성 9
 - 2. 연구의 목적 및 내용 12
- II. 국내외 연구 현황 14
 - 1. 미세먼지, 운동, 그리고 심혈관질환 14
 - 가. 미세먼지와 심혈관질환의 관계 14
 - 나. 운동과 심혈관질환의 관계 18
 - 다. 미세먼지와 운동의 혼합효과와 심혈관질환의 관계 20
 - 2. 미세먼지, 운동, 그리고 당뇨병 21
 - 가. 미세먼지와 당뇨병의 관계 21
 - 나. 운동과 당뇨병의 관계 23
 - 다. 미세먼지와 운동의 혼합효과와 당뇨병의 관계 24
- III. 연구 방법 26
 - 1. 국민건강보험공단 빅데이터 활용 26
 - 가. 연구 대상자 선정 27
 - (1) 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환에 미치는 영향 27
 - (2) 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향 28
 - (3) 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환에 미치는 영향 30
 - (4) 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향 31
 - 나. 심혈관질환 및 당뇨병의 조작적 정의 32
 - 다. 운동량 및 건강행태 정보 수집 33
 - 2. 미세먼지 데이터 추출 및 노출량 추정 35
 - 3. 데이터 베이스 연계 36
 - 4. 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 심혈관질환 및 당뇨병 위험 평가: 코호트 분석 디자인 36
- IV. 연구 결과 41
 - 1. 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 심혈관질환 위험 평가 41
 - 가. 20-30대 젊은 성인 41
 - 나. 58세 이상 고령 인구 56
 - 2. 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 당뇨병 위험 평가 62
 - 가. 20-30대 젊은 성인 62
 - 나. 58세 이상 고령 인구 65
- V. 고찰 및 결론 70

1. 서론

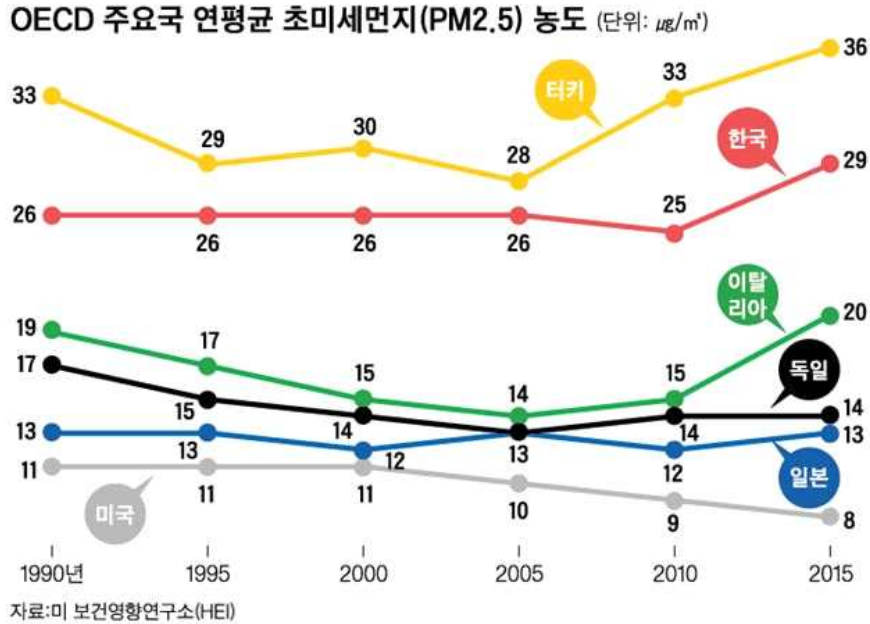
1. 연구의 배경과 필요성

최근 몇 년간 다양한 매체에서 꾸준히 연일 찾아볼 수 있는 이슈가 한 가지 있다. 바로 미세먼지이다. 코로나19 팬데믹으로 인해 요즘에는 약간 뜸해지긴 했으나, 미세먼지는 여전히 우리나라의 큰 문제이자 해결해야 할 과제로 인식되고 있다. 심심치 않게 미세먼지 (Particulate matter 10; PM10) 및 초미세먼지 (Particulate matter 2.5; PM2.5)의 ‘나쁨’ 혹은 ‘아주 나쁨’ 예보를 볼 수 있으며⁴⁾, 그때마다 외출이나 외부활동을 자제하고 꼭 필요한 경우에는 보건용 마스크를 쓰고 외부활동을 하도록 권고가 내려지곤 한다. 이는 남녀노소 무관하게 외부활동 여부에 많은 영향을 끼치며, 실제로 미세먼지가 심한 날에는 학생들의 체육 활동을 학교 차원에서 자제하는 등 전국 곳곳에서 전방위적으로 미세먼지에 대해 다양한 대응을 하고 있다.

한 편, 일반적인 인식과는 달리 실상을 살펴보면 과거부터 현재까지 한국 주요 도시들의 미세먼지 연평균 농도는 전반적으로 감소하는 추세이며, 2012년에는 한국의 연평균 대기환경기준인 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 수준으로 감소하였다 (환경부, 2013)⁵⁾. 다만 대기환경기준은 국가별로 목표치에 차이가 있어, WHO (세계보건기구, World Health Organization)의 권고기준은 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 영국과 EU (European Union)의 대기환경기준은 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 한국보다 더 엄격하고, 중국은 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 한국보다 기준이 관대하다 (대기환경연보, 2012). 이는 각 국가의 환경적 상황들을 고려하여 설정한 대기 환경 기준으로써, 이 수준을 달성하는 것이 첫 번째 목표이고 궁극적으로는 WHO에서 제시하는 권고기준까지 도달하는 것이 최종 목표라고 볼 수 있겠다. 즉, 한국의 주요 도시 미세먼지와 초미세먼지의 농도는 한국의 대기환경기준에는 도달한 지역이 많지만, OECD (경제협력개발기구, Organization for Economic Co-operation and Development) 국가의 주요 도시들에 비해서는 여전히 높은 농도를 기록하고 있다. 실제로 가장 최근에 보고된 <2019 세계 공기질 보고서>에 따르면, 한국의 연평균 초미세먼지 (PM2.5) 농도는 $24.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 OECD 회원국 36개국 중 가장 높은 나라 중 하나로 보고가 되고 있다.

4) 편의상 이후 서술에서 PM10(미세먼지)과 PM2.5(초미세먼지) 모두 ‘미세먼지’로 총칭하겠으며, PM10과 PM2.5를 나누어 설명해야 할 경우에는 PM10, PM2.5라는 구체적 용어를 사용하도록 하겠다.

5) 2018년도에 PM2.5의 연평균 대기환경 기준은 업데이트 되어 보다 엄격해졌지만 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), PM10은 변경되지 않은 채 그대로 여전히 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 남아있다.

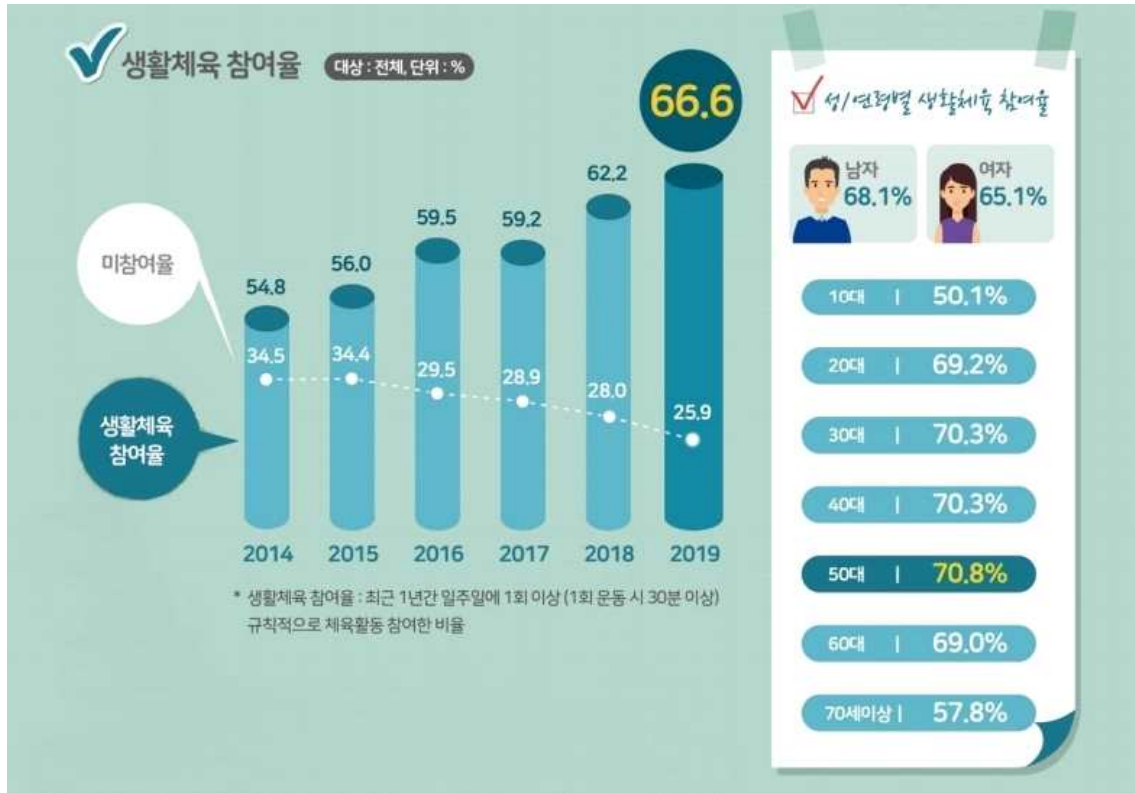


[그림 1] OECD 주요국 연평균 초미세먼지 농도

WHO의 International Agency for Research on Cancer (IARC)는 이러한 미세먼지 및 초미세먼지를 2013년에 발암물질로 공표하면서, 특히 미세먼지의 구성성분이 암 (특히 폐암) 발생에 큰 영향을 끼친다고 발표하였다. 또한 여러 수많은 연구들을 통해 미세먼지 및 초미세먼지의 증가가 심혈관, 호흡기, 당뇨 등의 질환 발생을 야기하고 조기 사망을 촉진한다는 근거들이 꾸준히 제시되고 있다. 미세먼지로 인한 건강 영향은 현재까지 대부분 암, 심뇌혈관질환, 사망을 중심으로 연구된 경우가 대부분이며, 특히 미세먼지로 인한 조기 사망 중 약 80% 이상은 심뇌혈관질환으로 인한 사망인 것으로 보고되고 있다. 이러한 질병 외에도 당뇨의 발생에도 미세먼지가 악영향을 미친다는 메타 분석 연구도 최근 발표된 만큼 (Puett et al., 2019), 미세먼지는 전방위적으로 건강에 여러 해악을 끼치고 있다고 볼 수 있다.

한편 운동은 과거부터 수많은 연구를 통해 다양한 질병으로부터의 예방 효과와 전반적인 건강상 이득 효과(사망, 심뇌혈관질환, 고혈압, 당뇨, 다양한 암종[폐암, 방광암, 유방암, 대장암, 위암 등], 삶의 질, 우울증, 치매, 뼈 건강 등)가 큰 것으로 널리 알려져 왔다 (Piercy et al, 2018). 이에 신체활동을 활발히 하고 운동을 열심히 하는 것이 건강을 지키는 지름길이라는 이야기를 누구나 주변에서 한 번쯤은 들어봤을 것이다. 문제는 이러한 운동의 건강상 이득 효과에도 불구하고 여전히 많은 성인 인구는 운동에 참여하지 않는 비율이 높다는 점이다. 매년 국민의 신체활동 및 운동 실태를 조사하는 문화체육관광부와 국민체육진흥공단 체육과학연구원에 따르면, 과거에 비해 꾸준히 운동을 하는 성인 비율이 늘고는 있지만 여전히 아직까지도 약 26% 정도의 성인은 전혀 운동을 하지 않는 것으로 밝혀졌다. 2014년도까지만 해도 이 비율은 약 35%에 달했으며, 그 이전의 과거에는 운동을 하지 않

는 성인의 비율이 훨씬 높았다는 것이 현실이다. 이에 국가 차원에서 다양한 연구와 정책들을 통해 성인 인구의 운동량 증가를 격려하고 있는 상황이다.



[그림 2] 국민체육진흥공단 국민생활체육 참여율 조사자료

운동을 하지 않는 이유에는 여러 요인들이 있겠지만 중요한 요인 중 하나는 바로 미세먼지로 인한 건강 위협의 걱정 때문일 것이다. 대다수의 운동은 실외에서 이루어지게 되는데, 실외 운동의 경우 자연스럽게 미세먼지에 노출될 위험이 높아질 수밖에 없다. 특히 우리나라와 같이 최근 미세먼지가 상당히 중요한 이슈로 꾸준히 거론되고 있는 지역 환경의 경우 그 위험도가 더욱 강조될 수밖에 없는 상황이라고 볼 수 있다. 이러한 상황에서 과연 운동을 적극적으로 해야 할지 말아야 할지에 대한 결정을 내리기 위해 가장 필요한 것은, 운동을 했을 때 추가적으로 흡입하는 미세먼지로 인한 잠재적 악영향과 운동 그 자체로 인한 긍정적 영향 중 질병 발생에 있어 어떤 영향이 더 큰지 밝혀내는 것이라고 할 수 있을 것이다.

현재까지 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강 영향 및 질병 발생 위험도를 분석한 연구는 전세계적으로 매우 부족하다. 덴마크에서 진행된 연구가 있긴 하지만 질병 발생이 아닌 사망에 대해서만 연구했으며, 대기오염의 척도 역시 미세먼지가 아닌 질소산화물, 특히 이산화질소 (Nitrogen dioxide; NO2)를 이용하여 대리 추정하였기에 정확하지 않다는 한계점이 있다. 뿐만 아니라 서양인에 대해 진행된 연구이므로 한국인과 같은 아시아인에게

일반화하여 적용하기 어렵다는 한계점도 있다. 따라서 한국인을 대상으로 미세먼지와 운동의 혼합효과가 건강에 미치는 영향을 살펴보는 연구가 매우 시급한 실정이다. 특히 여러 질병 중에서도 건강에 가장 큰 위협을 주는 대표적 질병이면서도 미세먼지와 운동의 효과가 서로 상반되게 나타나는 심혈관질환 및 당뇨병⁶⁾에 미치는 영향을 분석하는 연구가 우선적으로 이루어져야 할 필요가 있다.

2. 연구의 목적과 내용

위와 같은 연구의 필요성을 기반으로 본 연구에서는 한국인을 대상으로 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강 영향, 특히 심혈관질환과 당뇨병을 중심으로 질병 발생 위험에 대한 예측과 평가를 수행해보고자 한다. 먼저 현재까지 밝혀진 미세먼지와 운동이 각각 심혈관질환과 당뇨병에 미치는 영향에 대한 연구 문헌들을 살펴보고, 나아가 미세먼지와 운동의 혼합효과가 건강에 미치는 영향에 대해 현재까지 이해되고 있는 영역을 다루고자 한다. 이러한 배경적 정보들을 바탕으로 한국인들을 대상으로 본격적인 분석 및 연구를 시행한다.

특히 본 연구에서는 20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구를 연령에 따라 인구 집단을 크게 두 가지로 나누어서 연구를 독립적으로 진행하고자 한다. 이는 연령대별로 생리학적 기능이 상당히 다르기 때문이며, 이로 인해 미세먼지와 운동이 각각 미치는 건강 영향이 젊은 인구와 고령 인구에 사뭇 다르게 작용할 수 있다. 실제로 여러 선행 연구에 따르면 고령 인구는 미세먼지 취약 집단으로 잘 알려진 반면, 젊은 성인 인구에 대해서는 연구가 부족하여 아직 알려진 바가 없다. 또한 운동은 연령대에 관계없이 모두 건강에 긍정적 영향을 미친다고 알려져 있지만, 일반적으로 노화에 따라 신체 기능과 능력이 감소하므로 젊은 인구와 고령 인구의 운동량 패턴이 매우 다를 수밖에 없다. 게다가 설사 똑같은 운동량이라든가 연령대가 다를 때 동일한 건강 영향을 미칠지에 대해서는 미지수이며, 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미칠 건강 영향의 측면에서는 더욱 예측하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 20-30대 젊은 성인과 58세 이상의 고령 인구를 집단으로 나누어 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환과 당뇨병 발생에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

이를 위해 본 연구에서는 미세먼지 데이터와 인구기반 건강정보 데이터를 연계 및 활용하여 분석을 수행한다. 첫 번째로 미세먼지 데이터의 경우 환경부에서 제공하는 공개된 미세먼지 측정 자료를 활용한다. 해당 자료는 전국 각 행정 지역에 배치된 대기오염측정소에서 측정한 미세먼지 측정 데이터로 이루어져 있으며, 국가 차원에서 국가대기오염정보관리시스템(NAMIS)을 구축하여 일반 대중에게 제공하고 있다. 이를 전국 및 지역 단위로 수집하여 연구에 활용하기 용이한 형태로 미세먼지 데이터베이스를 구축하고자 한다. 두 번째로 인구기반 건강정보 데이터의 경우 국민건강보험공단에서 제공하는 맞춤형 코호트 데이터 베이스를 활용한다. 특히 비슷한 지역 환경을 공유하는 7대 대도시를 중심으로 코호트 데이터

6) 추후 서술되는 당뇨병은 유전적 요인이 지배적인 제1형 당뇨병을 제외한 제2형 당뇨병을 의미한다.

베이스를 구축하도록 하며, 앞서 언급했듯이 20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구를 집단으로 나누어 각각에 대해 전수 자료를 수집하는 대규모 코호트 데이터 베이스를 구성한다. 해당 코호트 데이터 베이스에는 각 대상자들의 사회경제학적 지표부터 건강행태 정보, 건강 상태 정보 등 풍부한 자료가 포함되어 있으므로 각 개인의 건강 영향을 살펴보기에 매우 용이하다. 따라서 각 개인의 운동량 정보를 얻기에도 유용한 측면이 있다. 이렇게 구축한 두 데이터 베이스를 각 대상자의 지역 정보를 기반으로 연계한 후, 각 개인의 미세먼지 노출량을 추정하여 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환과 당뇨병에 미치는 영향을 분석한다.

본 연구는 보건의료적 측면에서 우리나라 인구에 맞는 보건적, 임상적 관리 방안 근거를 제시함으로써 대한민국 국민의 건강 증진에 기여 하고자 한다. 미세먼지로 인한 건강 악화 혹은 운동량 감소로 인한 건강 악화는 앞으로도 사회적, 보건의료적으로 상당히 중요한 이슈로 작용할 것이다. 건강상의 많은 이득을 가져다주는 운동을 미세먼지 농도 수준이 낮거나 높은 지역에서 진행했을 때 어떠한 건강 영향이 있는지에 대해 연구가 부족한 상황이기 에, 미세먼지와 운동의 혼합 효과가 미치는 건강 영향을 평가함으로써 대한민국 국민의 삶의 질 및 보건의료 정보 향상에 기여하고자 한다. 궁극적으로는 우리나라 국민 건강을 개선할 수 있는 보건의료적 목적 달성을 기대한다. 이에 더하여 사회문화적 측면에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 건강에 미치는 영향을 밝힘으로써 미세먼지와 운동의 관계에 대한 정책적 및 임상적 관리방안의 근거자료를 마련하여 사회적으로 이슈가 될 미세먼지에 대한 국민 교육 증진에 기여하고자 한다.

II. 국내외 연구 현황

1. 미세먼지, 운동, 심혈관질환

가. 미세먼지와 심혈관질환의 관계

과거부터 미세먼지가 심혈관질환에 미치는 영향은 상당히 많은 연구가 되어왔다. 세계적으로 가장 권위 있는 심장학 저널인 Circulation에 게재된 논문에 따르면 (Brook et al., 2010), 2010년 이전까지 연구된 결과들을 종합해봤을 때 미세먼지의 급성노출 및 단기노출이나 혹은 장기 노출이 증가했을 때 모두 심혈관질환의 발생 위험도와 심혈관질환으로 인한 사망 위험도가 증가한다고 결론지었다. 특히 심혈관질환의 경우 허혈성 심장질환, 심부전, 허혈성 뇌졸중, 혈관질환, 부정맥, 심정지 등 다양한 질환 모두에서 위험도가 증가하였다. 직접적인 심장질환 외에도 심장질환을 야기할 수 있는 위험인자인 동맥경화, 전신 염증, 전신 산화 스트레스, 혈액 응고 장애, 혈압 상승, 내피세포 기능 장애 등의 경우에도 모두 위험도가 증가하는 것으로 보고하였다. 이를 정리한 결과는 아래와 같다.

〈표 1〉 PM2.5, 교통 관련, 연소 관련 대기오염 노출로 인한 심혈관 영향의 근거 요약

건강 변수	급성 노출 (일)	장기 노출 (월~년)
심혈관질환		
심혈관 사망	↑ ↑ ↑	↑ ↑ ↑
심혈관 질환으로 인한 입원	↑ ↑ ↑	↑
허혈성 심장질환	↑ ↑ ↑	↑ ↑ ↑
심부전	↑ ↑	↑
허혈성 뇌졸중	↑ ↑	↑
혈관 질환	↑	↑
심부정맥/심정지	↑	↑
심혈관질환 위험인자		
동맥경화 표지자	.	↑
전신 염증	↑ ↑	↑
전신 산화 스트레스	↑	.
혈액 응고 장애	↑ ↑	↑
혈관/내피세포 기능장애	↑ ↑	.
혈압	↑ ↑	.
심박변이도 변화	↑ ↑ ↑	↑
심장 허혈	↑	.
부정맥	↑	.

↑ ↑ ↑: 강한 역학적 근거가 존재

↑ ↑: 중간 수준의 역학적 근거가 존재

↑: 약한 수준의 역학적 근거가 존재.

빈칸은 근거가 부족함을 의미

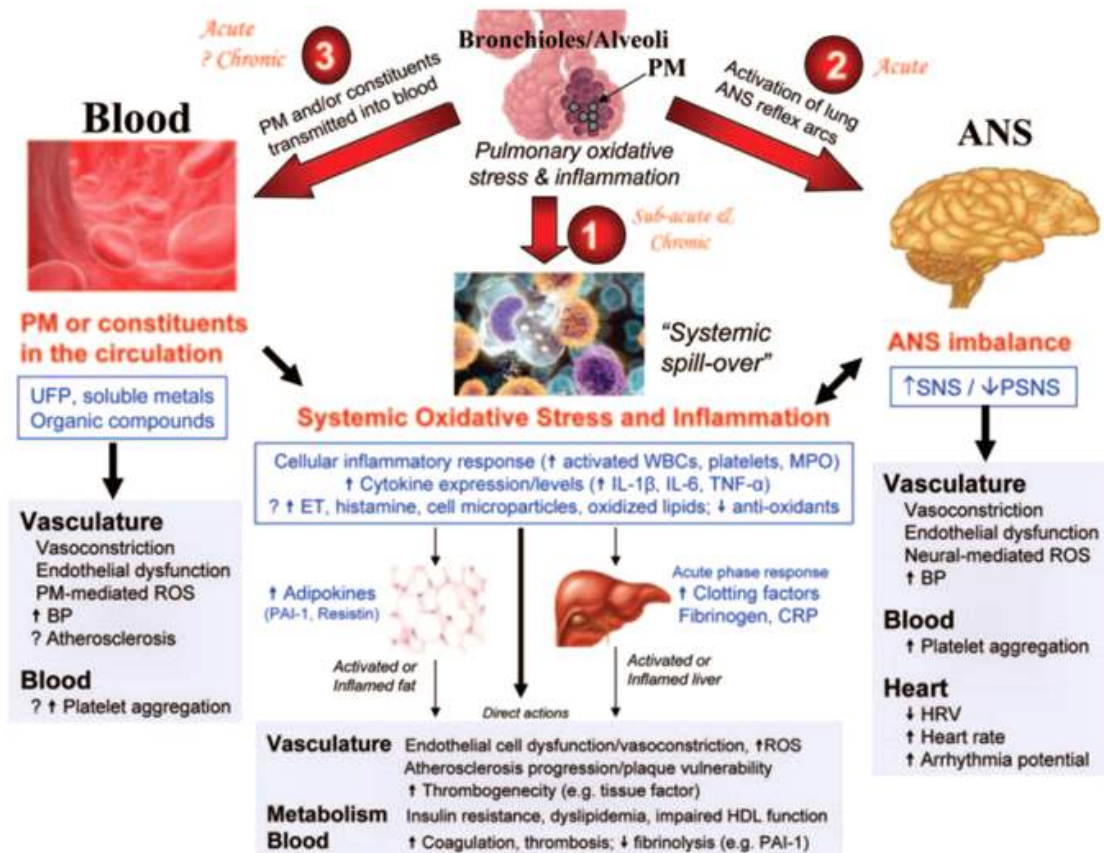
2010년 이후에도 활발한 연구가 진행되었는데, 그 이후에 보고된 연구에서도 미세먼지가 심혈관질환에 미치는 악영향은 일관되게 나타났다. 즉, 미세먼지의 급성 노출과 장기 노출 모두 심혈관질환 및 심혈관질환 위험인자 악화를 야기하는 것으로 밝혀졌다. 2014-2015년 사이에 PM10, PM2.5의 급성 노출 및 장기 노출에 따른 심혈관계통 영향을 연구한 최신 연구들을 정리한 표는 아래와 같다.

〈표 2〉 PM2.5, 교통 관련, 연소 관련 대기오염 노출로 인한 심혈관 영향의 근거 요약

선행 연구	연구 집단	주요 결과
급성 노출 연구		
Li et al.	사례-교차 분석 연구: 중국 내 8개 대도시를 중심으로	PM10 10 μ g/m ³ 증가마다 관상동맥질환으로 인한 사망 증가
MONICA/KORA study	사례-교차 분석 연구: 독일에서의 15,417건의 심근경색을 중심으로	PM 농도와 심근경색 빈도 사이의 연관성을 발견
MCAPS	미국에서의 12년간 시계열 연구	65세 이상 고령 인구에서 하루 동안의 PM10-2.5 변화가 심혈관질환으로 인한 응급 입원과 연관이 있음
MED-PARTICLES project	사례-교차 분석 연구: 남유럽 10개 도시를 중심으로	도시 인구에서 PM10이 심혈관질환으로 인한 사망의 증가와 관련이 있음
Chang et al.	사례-교차 분석 연구: 2006-2010년 사이의 대만을 중심으로	높은 농도의 PM2.5는 추운 날씨에서(섭씨 25도 이하) 심혈관질환으로 인한 입원 위험도를 높임
EPHT program	사례-교차 분석 연구: CDC EPHT 네트워크 내의 7개 미국 주를 중심으로	심근경색을 포함한 심혈관 질환 발생이 미세먼지에 의해 영향을 받음
MINAP	사례-교차 분석 연구: 영국과 웨일즈에서의 400,000건 이상의 심근경색을 중심으로	심근경색이 아닌 심혈관질환과 공기오염이 강한 상관관계가 있음
Zhao et al.	중국에서의 56,940명의 외래 환자에 대한 시계열 연구	PM10 10 μ g/m ³ 증가가 부정맥 외래 환자의 방문을 0.56% 증가시킴
Raza et al.	사례-교차 분석 연구:	오존(O3)에의 노출은 심정

	2000-2010년 사이의 스톡홀름에서의 5,973건의 심혈관질환 발생을 중심으로	지 위험도를 증가시킴
Bell et al.	미국 내 4개 지역을 중심으로 한 시계열 연구	PM2.5는 심혈관질환으로 인한 입원 증가와 연관이 있음
장기 노출 연구		
MESA project	2000-2012년 사이의 미국에서의 시계열 연구	공기오염 노출이 염증과 섬유소용해의 마커와 연관이 있음
Qin et al.	단면 연구: 북동지역 중국의 대도시에서 거주하는 24,845명의 성인을 중심으로	과체중 혹은 비만이 되는 경우 심혈관질환에 미치는 공기오염의 영향을 증폭시킬 수 있음
Wolf et al.	코호트 연구: 100,166명의 유럽 인구를 중심으로 (11.5년의 추적관찰 기간)	PM10 100 ng/m ³ 증가와 PM2.5 50ng/m ³ 증가는 각각 6%와 18%씩 관상동맥질환 발생을 증가시킴
Wong et al.	코호트 연구: 66,820명의 홍콩 인구를 중심으로 (4년의 추적관찰 기간)	PM2.5 10µg/m ³ 증가당 심혈관질환으로 인한 사망 위험도가 1.22, 허혈성 심장질환으로 인한 사망 위험도가 1.42임
Chan et al.	단면 연구: 43,629명의 미국 여성 인구를 중심으로	PM2.5 노출은 높은 혈압과 관계가 있음
Pope et al.	단면 연구: 669,046명의 미국 인구를 대상으로	PM 노출은 심혈관계 장애를 악화시킬 수 있고 심혈관 질환 및 사망을 증가시킬 수 있음
Wilker et al.	코호트 연구: 5,112명의 Framingham Offspring 연구 대상자를 중심으로	높은 농도의 PM2.5는 도관동맥과 미세혈관기능의 손상과 관계가 있음 (중년과 고령 인구에서)
Weichenthal et al.	코호트 연구: 83,378명의 미국 인구를 대상으로	시골 지역에서 PM2.5는 남자에서 심혈관질환으로 인한 사망과 연관이 있었으나, 자에서는 뚜렷한 연관이 관찰되지 않음

이와 같이 전 세계적으로 인종이나 국가 등에 관계 없이 거의 모든 국가와 인종에서 동일하게 미세먼지로 인한 심혈관계통의 손상과 심혈관질환의 위험도 증가가 계속해서 보고되고 있다.



[그림 3] 미세먼지가 심혈관질환에 미치는 영향에 대한 생물학적 기전 모식도 (Brook et al., 2010)

미세먼지가 이러한 심혈관질환을 야기하는 생물학적 기전으로는 위 그림과 같이 크게 3가지가 제시되고 있다 (Brook et al., 2010). 첫 번째로는 미세먼지가 폐포에서 염증을 일으키고 이것이 결국 전신적인 염증반응으로 이어져 심혈관질환으로 이어진다는 것이다. 즉, 미세먼지가 폐성 산화 스트레스와 염증을 활성화시키고 이것이 전신 산화 스트레스 및 염증을 일으켜 결국 내피세포 기능 장애, 혈관수축, 동맥경화 진행, 혈전 장애 등을 일으켜 심혈관질환에 기여하게 된다. 뿐만 아니라 인슐린 저항성이나 이상지질혈증, 혈액 응고 장애 등에도 종합적으로 악영향을 끼침으로써 심혈관질환의 위험도를 증가시킨다. 두 번째로는 자율신경계의 불균형으로 인해 심혈관질환이 발생한다는 것이다. 미세먼지가 폐의 특정 수용체와 반응하게될 경우 교감신경이 과활성화되고 반대로 부교감신경은 억제되는데, 이러한 자율신경계 불균형으로 인해 혈관 수축, 내피세포 기능 장애, 혈압 상승, 혈소판 응고 장

에, 심박수 증가, 심박변이도 감소 등이 발생하고 결국 이는 부정맥을 초래하게 된다. 부정맥이 초래될 경우 심혈관 위해가 발생하게 되고 결국 심혈관질환이 발생할 확률이 높아지게 되는 것이다. 마지막으로 미세먼지가 직접 혈류에 녹아 들어가 혈액 순환 자체에 영향을 미쳐 심혈관질환을 야기한다는 것이다. 미세먼지, 특히 PM2.5는 입자의 크기가 2.5um 이하이기 때문에 매우 작아 폐포를 통해 혈류로 침투할 수 있다. 이렇게 미세먼지 입자가 혈류로 침투한 후 녹아들어가 전신으로 순환할 경우, 전신적인 염증을 일으킬 수도 있으며 혈관 내피 세포에 작용하여 혈관 수축, 내피세포 기능 장애, 활성산소 스트레스 증가, 혈압 상승 등에 기여할 수 있다. 즉, 이를 통해 미세먼지가 심혈관질환의 악화를 심화시킬 수 있는 것이다.

요약하면 위와 같은 생물학적 기전으로 인해 미세먼지가 심혈관질환을 일으킬 수 있고, 실제로 많은 연구들을 통해 근거가 쌓여가고 있다.

나. 운동과 심혈관질환의 관계

운동을 통해 얻을 수 있는 건강적 이득은 이미 많은 연구들을 통해 널리 알려져 있다. 세계적으로 가장 권위있는 의학저널 중 하나인 JAMA (Journal of the American Medical Association)에서 최근 운동 가이드라인에 대한 논문을 발표하면서 운동의 중요성을 강조한 만큼 (Piercy et al., 2018), 운동을 통해 얻을 수 있는 건강 이득에 대한 근거는 충분히 쌓여있으며 이를 바탕으로 운동을 장려하기 위한 여러 정보들을 제공하고 있다. 특히 운동 가이드라인이 제시될 정도로 이상적인 운동량에 대한 정보도 어느 정도 연구가 되어있는 상황이다. 아래의 그림은 해당 논문에 제시된 건강 이득에 대한 정보들이다. 아래에서 확인할 수 있듯이, 고령인구를 포함한 성인 인구에서 운동은 사망, 심혈관질환으로 인한 사망, 심혈관질환 발생, 고혈압 등 심혈관질환과 관계된 모든 지표에서 위험도를 낮추는 것으로 알려져 있다. 이 외에도 제2형 당뇨병, 이상지질혈증, 다양한 암종 (방광암, 유방암, 대장암, 자궁내막암, 식도암, 신장암, 폐암, 위암), 치매, 우울증 등의 상당히 다양한 질병 발생에 있어서도 위험도를 낮추는 것으로 보고되고 있다. 즉, 운동은 신체 전방위적으로 건강에 매우 유익하며 이 때문에 활발한 운동이 보통 장려되곤 한다.

- Adults and Older Adults**
- Lower risk of all-cause mortality
- Lower risk of cardiovascular disease mortality
- Lower risk of cardiovascular disease (including heart disease and stroke)
- Lower risk of hypertension
- Lower risk of type 2 diabetes
- Lower risk of adverse blood lipid profile
- Lower risk of cancers of the bladder, breast, colon, endometrium, esophagus, kidney, lung, and stomach
- Improved cognition
- Reduced risk of dementia (including Alzheimer disease)
- Improved quality of life
- Reduced anxiety
- Reduced risk of depression
- Improved sleep
- Slowed or reduced weight gain
- Weight loss, particularly when combined with reduced calorie intake
- Prevention of weight regain after initial weight loss
- Improved bone health
- Improved physical function

[그림 4] 운동으로 얻을 수 있는 건강 이득 (Piercy et al., 2018)

운동이 심혈관질환 위험도를 낮추는 생물학적 기전으로는 매우 다양한 요소들이 제시되고 있다 (Garber et al., 2011; Snowling and Hopkins 2006; Colberg et al., 2016). 먼저 전반적인 심폐기능을 향상시킴으로써 심혈관질환 위험도를 낮춘다는 점이다. 규칙적인 운동은 유산소 능력을 향상시켜주며 신체 기능의 개선에도 도움이 된다. 이를 통해 심폐기능을 보다 더 강화할 수 있게되는 것이다. 특히 유산소 운동은 혈관의 유연성과 활성도 능력을 개선시켜주며 전반적인 면역 기능 향상과 심박출량 증가에도 상당한 도움이 된다. 뿐만 아니라 규칙적인 운동은 심혈관질환을 일으킬 수 있는 대사 위험 요소들을 조절하는데 매우 효과적인 방법이다. 예컨대 체중 조절이나 혈압 강하, 전신 염증 반응 조절, 지질 대사 지표 개선, 인슐린 저항성 개선, 혈액 응고 장애 개선, 내피세포 기능 정상화 등이 그 예시라 하겠다. 유산소 운동 뿐 아니라 저항성 운동⁷⁾도 심혈관 건강 개선에 상당한 도움을 준다. 체성분 중 체지방이 아닌 근육량을 늘리는데 도움이 되며, 혈압이나 지질 대사 지표의 개선에도 도움이 된다.

운동량이 감소했을 경우에는 위에서 제시한 모든 심혈관 건강 이득이 감소할 수밖에 없고, 이에 더하여 PPAR(peroxisome proliferator-activated receptors; 퍼옥시좀 증식체 활

7) 흔히 말하는 웨이트 운동 (Weight training)

성화 수용체)에 피해를 가하여 근세포 염증과 인슐린 저항성 증가에 기여를 한다. 즉, 그만큼 규칙적으로 운동하는 것은 심혈관 건강에 중요한 요소 중 하나이며, 반대로 운동량을 줄이는 것은 심혈관 건강을 해치는 지름길 중 하나인 것이다.

다. 미세먼지와 운동의 혼합효과와 심혈관질환의 관계

위와 같이 미세먼지와 심혈관질환, 운동과 심혈관질환 사이의 관계에 대해서는 여러 연구가 진행된 바가 있으나, 미세먼지와 운동의 혼합효과와 심혈관질환의 관계에 대해서는 아직 알려진 바가 매우 부족하다. 현재까지 공기오염과 운동의 혼합효과가 미치는 건강 영향에 대해 실제 사람을 대상으로 진행된 임상역학 연구는 덴마크에서 진행된 연구가 유일하다 (Andersen et al., 2015; Fisher et al., 2016). 해당 연구는 총 2편이 발표가 되었는데, 한 연구는 대기오염과 운동의 혼합효과가 사망에 미치는 영향을 탐색하였고, 다른 한 연구는 만성폐쇄성폐질환과 천식에 미치는 영향을 탐색하였다. Andersen et al.(2016)에 따르면, 대기오염의 수준이 높더라도 운동의 심혈관질환 사망 위험감소 효과를 바꾸진 못한다는 결과가 도출되었다. 그러나 해당 연구는 대기오염을 미세먼지로 추정된 것이 아니라 질소산화물인 이산화질소로 추정된 것이므로 실제 대기오염의 수준을 정확히 반영한다고 보기엔 한계가 있으며⁸⁾, 게다가 사망에 대한 연구를 진행한 것이므로 심혈관질환 발생에 대해서는 아무런 정보를 얻을 수 없었다. Fisher et al.(2016)의 경우에는 만성폐쇄성폐질환과 천식으로 인한 병원 입원에 대기오염과 운동의 혼합효과가 어떠한 영향을 미치는지 분석을 진행했다. 비록 결과는 대기오염의 농도가 운동의 만성폐쇄성폐질환 혹은 천식으로 인한 병원 입원의 위험도 감소 효과를 바꾸진 못한다고 도출이 되었으나, 앞서 Andersen et al.(2016)의 연구와 마찬가지로 대기오염 수준을 미세먼지가 아닌 이산화질소로 봤다는 한계가 여전히 남아있으며, 심혈관질환에 대해서는 아무런 정보를 주지 못했다는 점 역시 한계로 남아 있다.

즉, 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강 영향에 대해서는 아직 전 세계적으로도 연구가 부족하며, 당연하게도 심혈관질환에 대해서는 연구가 거의 전무한 상황이다. 앞서 언급한 미세먼지의 악영향으로 인해 운동시 추가적으로 흡입하는 미세먼지가 심혈관질환을 더욱 악화시킬 가능성도 있으며, 반대로 미세먼지의 악영향에도 불구하고 운동 그 자체로 인한 심혈관 건강 이득이 더 클 가능성도 있다. 이를 명확히 밝히기 위해서는 해당 주제로 실제 사람을 대상으로 하는 임상역학 연구가 필요한 상황이다.

8) 물론 이산화질소(NO2)도 미세먼지를 악화시키는 대기오염물질로써 초미세먼지의 원인으로 지목되기도 하는 만큼, 대기오염의 수준을 대변하는 좋은 대리 표지자 중 하나이다. 그러나 미세먼지가 보다 포괄적인 개념이며 이산화질소는 그러한 미세먼지의 구성성분 중 하나에 불과한만큼, 대기오염을 보다 거시적으로 반영하는 지표는 미세먼지가 더 정확하다 할 것이다.

2. 미세먼지, 운동, 당뇨병

가. 미세먼지와 당뇨병의 관계

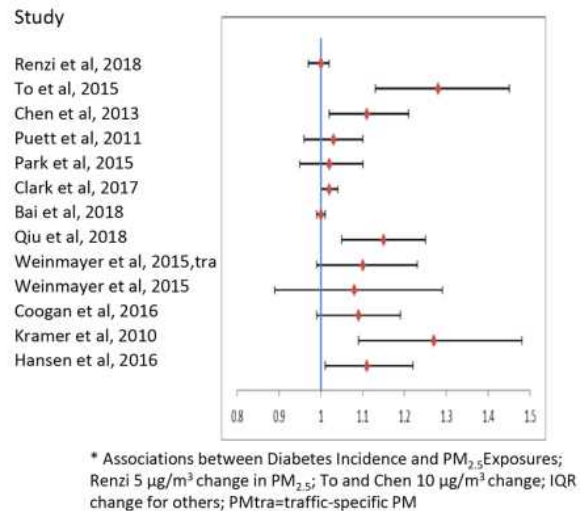
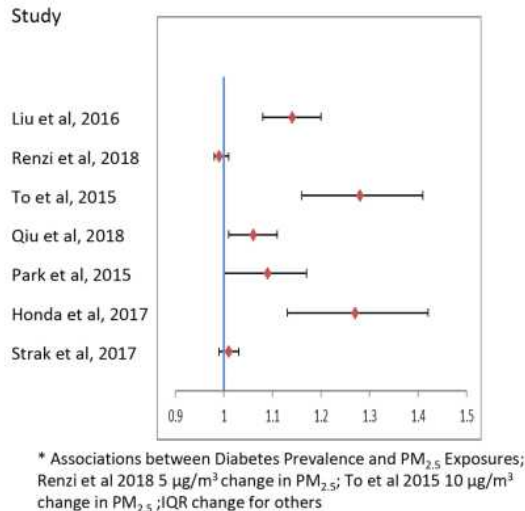
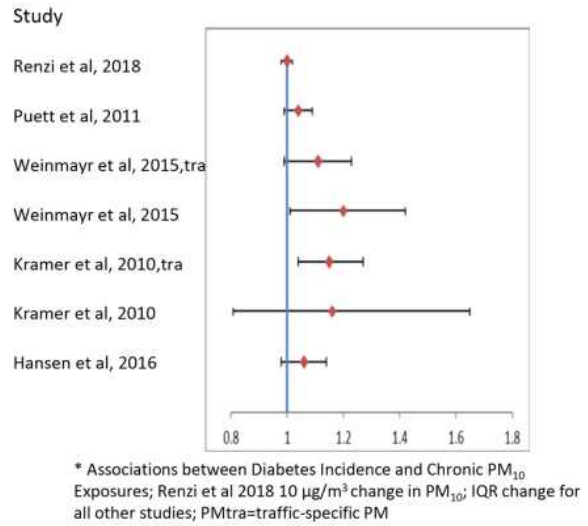
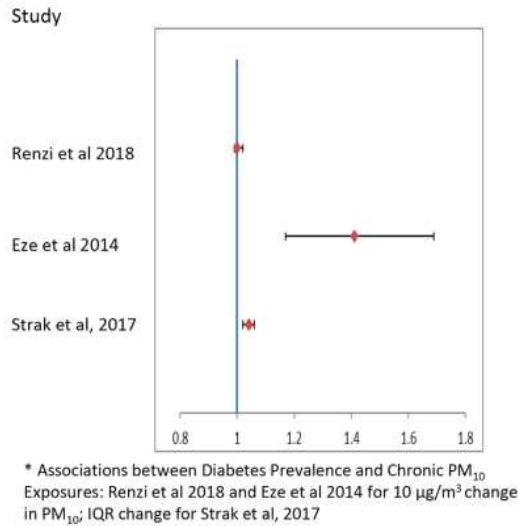
미세먼지가 미치는 건강의 악영향은 앞서 언급했듯이 주로 암종(특히 폐암), 심혈관질환, 사망 등에 집중되어 있었다. 그러나 미세먼지에 대한 이해도가 깊어지면서 더 다양한 질병의 발생에도 기여한다는 근거들이 제시되었고, 그에 따라 다양한 질병에 있어서의 미세먼지의 영향도 다방면으로 연구되어왔다. 그 중 하나가 바로 당뇨병이다. 상대적으로 다른 질병들에 비해서는 연구가 비교적 늦게 시작된 질병이었기에, 꾸준히 근거가 쌓이다가 최근에 메타 분석 논문⁹⁾이 발표되면서 미세먼지가 당뇨병에 미치는 영향의 윤곽이 명확해졌다.

실제로 작년인 2019년에 발표된 메타 분석 논문에 따르면 (Puett et al., 2019), 2010년 1월부터 2018년 9월 사이에 발표된 미세먼지와 당뇨병과의 연관성을 연구한 24편의 논문을 대상으로 메타 분석을 시행한 결과, 미세먼지 노출이 증가할수록 제2형 당뇨병 위험도가 증가한다는 결론을 내렸다. 실제로 아래 Forest plot 그림을 살펴보면, 전반적으로 대부분의 연구에서 상대위험도가 1.00¹⁰⁾ 이상인 것을 확인할 수 있다. 이는 곧 PM10 혹은 PM2.5 노출의 증가에 따라 당뇨병 발생의 위험도가 증가한다는 것을 의미한다. 해당 24편의 연구에는 다양한 국가와 인종이 포함되어 있었으며 (덴마크, 캐나다, 미국, 영국, 네덜란드, 스위스, 독일, 중국, 이탈리아 등), 연구 대상자의 수도 상당히 많은 편이었기에, 본 메타 분석의 신뢰도는 꽤 높고 연구 결과의 일반화 측면에서 용이하다고 볼 수 있다.

이처럼 비교적 최근까지 발표된 논문까지도 메타 분석에 포함한 만큼 최신 경향을 반영하고 있다고 볼 수 있으며, 2010년 이전에 수행된 여러 연구들에서도 미세먼지 노출이 당뇨병 발생 위험도를 높인다는 결과들이 꾸준히 보고되었다 (Eze et al., 2015). 즉, 과거부터 현재까지의 연구 결과들을 토대로 보았을 때, 미세먼지가 당뇨병 발생을 야기하는데 기여한다고 여겨지고 있다.

9) 메타 분석이란 특정 연구 주제에 대해 비슷하거나 동일한 연구를 진행한 여러 연구 결과물들을 한 데 모아 정량적인 통계 방법을 통해 한 가지의 결론을 도출하는 연구 방법을 의미한다. 즉, 독립적인 개별 연구 결과 값들을 통합함으로써 보다 거시적인 관점에서 특정 주제의 해답을 얻고자 하는 연구 방법이다. 결국 여러 연구 결과값들을 기반으로 한 신뢰도 높은 하나의 결론을 이끌어낼 수 있다는 점에서 근거 수준이 매우 높은 연구 분석 방법에 속한다.

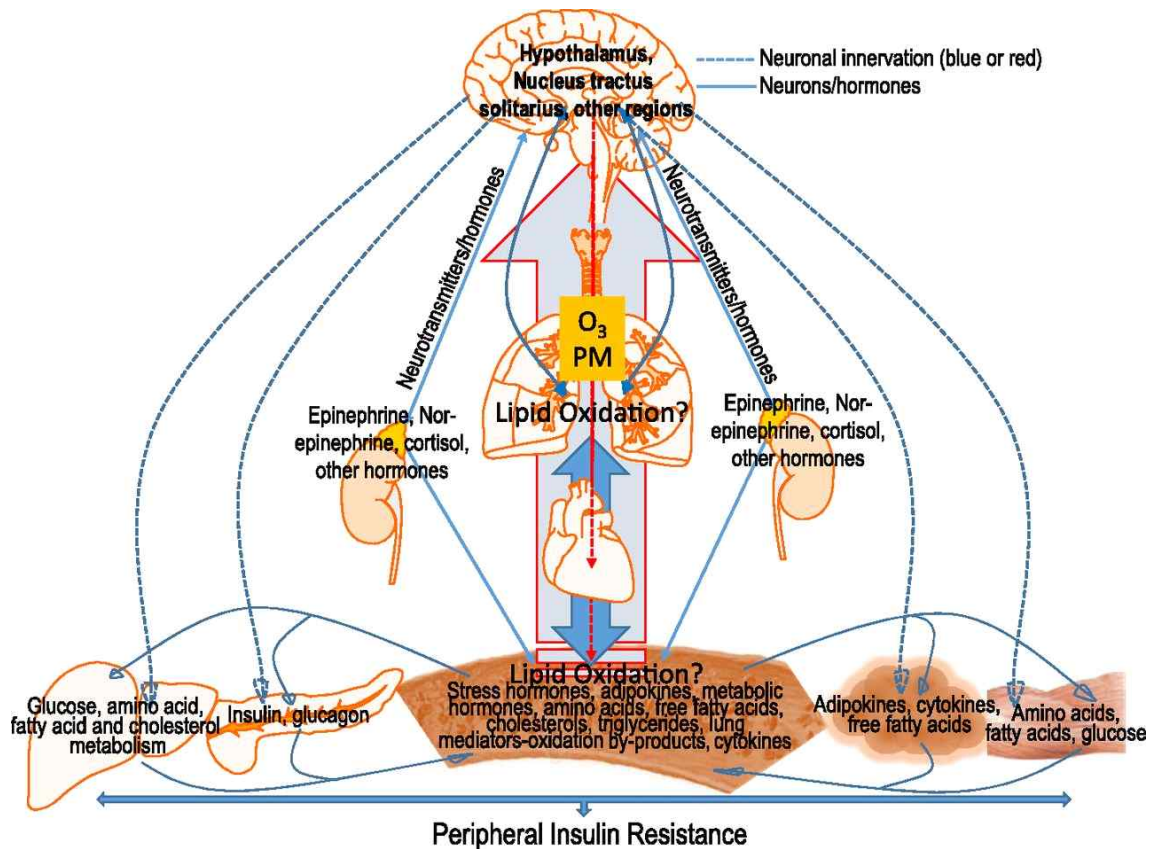
10) 그림 내 빨간색 다이아몬드가 상대 위험도를 의미하며, 검은 실선이 95% 신뢰구간을 의미한다. 즉, 파란색 실선(상대 위험도: 1.00)을 기준으로 오른쪽에 치우쳐져 있다는 것은 미세먼지 노출량의 증가에 따라 상대위험도가 높아진다는 것을 의미한다.



[그림 5] 미세먼지 노출과 제2형 당뇨병 사이의 연관성에 대한 보정된 모델의 상대위험도 및 95% 신뢰구간

미세먼지가 이러한 당뇨병을 발생시키는 생물학적 기전으로는 아래 그림과 상당히 많은 경로를 통해 기여하고 있다고 이해되고 있다 (Kodavanti, 2015). 그러나 가장 핵심으로 작용하는 것은 바로 인슐린 저항성이다. 미세먼지가 폐포를 통해 직접 혈류로 녹아 들어가거나, 혹은 폐포에 간접적으로 염증을 일으키고 산화 스트레스 등을 유발하는 경우 각종 장기와 세포에 작용하는 인슐린의 감수성을 떨어뜨리고 저항성을 증가시킨다 (Liu et al., 2014). 뿐만 아니라 염증 그 자체도 전신 염증과 산화 스트레스 경로를 활성화시켜 당뇨병 발생에 기여한다 (Franchini and Mannucci, 2011). 특히 PM2.5는 면역세포 수용체 단백질인 C-C 케모카인 수용체-2 (CC chemokine receptor 2)를 통해 염증 세포들을 활성화시키는데, 이 역시 미세먼지가 당뇨병을 야기하는데 매우 영향으로 작용하는 기전 중 하나이다 (Liu et al., 2014; Potera, 2014). 최근에는 PM10보다 PM2.5가 혈당을 증가와 관련이

있다는 연구도 보고된 바가 있는 만큼 (Shin et al. 2020), 미세먼지가 당뇨병을 일으키는 근거는 점점 단단해지고 있다.



[그림 6] 미세먼지가 당뇨병에 미치는 영향에 대한 생물학적 기전 모식도 (Kodavanti, 2015)

나. 운동과 당뇨병의 관계

앞서 이미 언급했듯이 운동을 통해 얻을 수 있는 건강적 이득은 이미 널리 알려져 있으며, Piercy et al. (2018) 등이 제시한 [그림 4]에서도 볼 수 있듯이 이러한 운동의 건강 이득은 당뇨병도 포함한다. 뿐만 아니라 Diabetes Canada Clinical Practice Guidelines Expert Committee에서도 당뇨병과 운동의 관계에 집중하여 운동 가이드라인을 발표하였는데 (Sigal et al., 2018), 이에 따르면 유산소 운동과 저항성 운동 모두 당뇨병 예방에 도움이 된다. 특히 주당 150분의 유산소 운동과 적어도 주당 2회 이상의 저항성 운동이 권장되며, 이를 충족하지 못하는 적은 양의 운동량이라도 건강 이득 효과를 기대할 수 있다고 한다.

실제 임상에서도 당뇨병 전단계인 공복혈당장애¹¹⁾ 혹은 내당능장애¹²⁾를 앓고 있는 환자

11) 공복혈당이 100~125mg/dL인 경우

12) 식후 2시간 혈당이 140~199mg/dL인 경우

들에게 가장 권고되는 생활습관 치료 중 하나가 바로 체중 감량이며, 이를 달성하기 위해 가장 중요한 것이 바로 운동이다. 이미 당뇨병까지 진행하여 당약을 앓고 있는 환자의 경우에도 이러한 생활습관 중재 전략은 동일하다. 그만큼 운동의 중요성은 계속해서 강조되어왔으며 현재에도 가장 효과적인 치료 전략 중 하나이다.

Aerobic exercise			Resistance exercise*		
Definition and recommended frequency	Intensity	Examples	Definition	Recommended frequency	Examples
Rhythmic, repeated and continuous movements of the same large muscle groups for at least 10 minutes at a time.	Moderate: 64%–76% of person's maximum heart rate	<ul style="list-style-type: none"> • Biking • Brisk walking • Continuous swimming • Dancing • Raking leaves • Water aerobics 	Activities of brief duration involving the use of weights, weight machines or resistance bands to increase muscle strength and endurance	2–3 times per week	<ul style="list-style-type: none"> • Exercise with weight machines • Exercise with free weights
Moderate-to-vigorous intensity aerobic exercise is recommended for a minimum of 150 minutes per week, no more than 2 consecutive days without exercise. Performance of smaller amounts of exercise is also beneficial, but to a lesser extent than the recommended amount. Higher-intensity interval training can increase aerobic fitness gains compared to continuous moderate-intensity exercise	Vigorous: >76% of person's maximum heart rate	<ul style="list-style-type: none"> • Brisk walking up an incline • Jogging • Aerobics • Hockey 		<ul style="list-style-type: none"> • Start with 1 set using a weight with which you can perform 15 to 20 repetitions while maintaining proper form. • Progress to 2 sets and decrease the number of repetitions to 10–15 while increasing the weight slightly. If you cannot complete the required repetitions while maintaining proper form, reduce the weight. • Progress to 3 sets of 8 repetitions performed using an increased weight, ensuring proper form is maintained. 	

[그림 7] 당뇨병 개선을 위한 운동 가이드라인 (Sigal et al., 2019)

위 그림은 당뇨병 개선을 위한 운동 가이드라인으로써, 유산소 운동과 저항성 운동의 중요성을 강조하고 있다. 유산소 운동의 종류로는 빠르게 걷기, 자전거 타기, 수영, 춤, 계단 오르기, 조깅, 에어로빅, 등산 등이 제시되고 있으며, 이 외에도 각종 구기 종목 (축구, 농구, 탁구, 배드민턴, 테니스 등)들도 모두 유산소 운동의 범주 안에 포함된다고 볼 수 있다. 저항성 운동의 경우에는 우리가 흔히 알고 있는 헬스장에서 이루어지는 많은 운동 (웨이트 운동)들이 해당되며, 무게를 달고 이에 대한 저항을 통해 운동을 수행하는 것을 의미한다.

운동이 당뇨병 위험도를 낮추는 생물학적 기전으로는 앞서 설명한 심혈관질환에서의 기전과 비슷하게 다양한 요소들이 제시되고 있다. 예컨대 유산소 운동의 경우 미토콘드라이 밀도, 인슐린 감수성, 산화효소 등을 증가시켜준다. 또한 혈관의 유연성과 활성도를 증가시켜주고 면역 기능, 심박출량 등의 증가에 도움을 준다. 이에 더하여 대사기능에 중요한 여러 요소들에도 긍정적 영향을 미치는데, 당화혈색소(HbA1C), 중성지방, 혈압, 인슐린 저항성 등이 이에 해당한다. 이러한 모든 지표를 개선시키는데 유산소 운동이 매우 큰 역할을 한다. 저항성 운동의 경우에도 인슐린 감수성을 개선시키는데 도움이 되며, 근육량을 늘리고 체지방량을 줄이면서 신체 기능 및 혈압, 지질, 심혈관 건강 등을 개선하는데 중요한 역할을 한다. 뿐만 아니라 저항성 운동은 인슐린 활성을 촉진하여 골격근, 지방세포, 간에서의 당 섭취를 원활하게 해준다.

결론적으로, 운동은 당뇨병 예방에 큰 도움을 주는 것으로 많은 근거가 쌓여져 있다.

다. 미세먼지와 운동의 혼합효과와 당뇨병의 관계

위와 같이 미세먼지와 당뇨병, 운동과 당뇨병 사이의 관계에 대해서는 여러 근거들이

쌓여있으나, 미세먼지와 운동의 혼합효과와 당뇨병의 관계에 대해서는 알려진 바가 전무한 상황이다. 앞서 언급했듯이 공기오염과 운동의 혼합효과가 미치는 건강 영향에 대해 현재까지 유일하게 발표된 덴마크 연구에서도 당뇨병에 미치는 영향에 대해서는 다른 바가 없다. 다만 Andersen et al.(2016)에 따르면 대기오염의 수준이 높더라도 운동의 당뇨병으로 인한 사망 위험 감소 효과를 바꾸진 못한다는 결과를 제시함으로써, 공기오염과 운동의 혼합효과가 당뇨병으로 인한 사망에 미치는 영향에 대해서는 어느 정도 중요한 메시지를 던진 바 있다. 그러나 여전히 당뇨병 ‘발생’에 대한 영향에 대해서는 밝혀진 바가 없이 모호한 상황이다.

결국, 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강 영향에 대해서는 연구가 많이 부족한 실정이며, 당연히 당뇨병에 대해서도 연구가 거의 전무한 상황이다. 미세먼지의 악영향으로 인해 운동 시 추가적으로 흡입하는 미세먼지가 당뇨병 발생을 더욱 야기할 수도 있으며, 반대로 미세먼지와 관계없이 운동 그 자체로 인한 당뇨병 예방 이득이 더 클 가능성도 있다. 이를 명확히 밝히기 위해서는 해당 주제로 실제 사람을 대상으로 하는 임상역학 연구가 필요하다.

Ⅲ. 연구 방법

1. 국민건강보험공단 빅데이터 활용

본 연구는 국민건강보험공단에서 제공하는 맞춤형 대규모 코호트 자료를 활용하였다. 본 연구에서 사용한 7대 대도시¹³⁾ 20-30대 젊은 성인 및 58세 이상 고령 인구 코호트DB는 맞춤형 대규모 건강보험 청구자료로서, 국민건강보험공단의 전국민데이터 베이스에서 7대 대도시에 거주하는 모든 20-30대 젊은 성인 인구나 58세 이상 인구를 추출한 코호트 DB(Database)이다. 대한민국 7대 대도시에 거주하는 모든 20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구를 추출한 것이므로 각 연령대 인구의 상당한 대표성을 담보한다고 볼 수 있으며, 한국인 전반에 연구 결과를 대입할 수 있는 일반화 가능성까지 갖췄다고 볼 수 있다. 즉, 이러한 맞춤형 코호트 자료는 기존에 국민건강보험공단에서 제공하고 있는 표본코호트DB나 건강검진코호트DB 등에 비해 훨씬 대규모 인구를 대상으로 연구를 진행할 수 있다는 점에서 큰 장점을 가진다. 이렇게 최근 국민건강보험공단에서 맞춤형 대규모 코호트 자료를 연구자의 연구 설계에 따라 학술연구용으로 제공하면서 의료 빅데이터를 통한 복합 분석 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

아래 [그림 8]은 국민건강보험공단에서 제공하는 코호트 자료에 담긴 정보들의 레이어아웃이다. 여러 DB로 나누어져 있지만, 크게 나누어보면 각 개인의 생년월일, 성별, 나이, 거주지역, 소득 등의 정보를 담고 있는 자격 및 보험료 DB, 진료 내역 전반 (병원 방문 횟수, 병원 입원 일수, 원내 처치 및 수술, 원내외 약처방, 투여량, 진료비, 주상병내역, 부상병내역 등)의 정보를 담고 있는 진료 내역 DB, 건강검진 시 얻은 건강행태 및 건강상태의 정보 (흡연/음주/운동과 같은 생활 습관, 가족력, 혈액검사 결과, 소변검사 결과 등)를 담고있는 건강검진 DB 등이 있다.

각 개인은 익명화된 개인식별번호가 있으며, 각 DB마다 이러한 각 개인의 개인식별번호와 함께 정보들이 포함되어 있어 개인식별번호를 이용하여 각 DB의 정보들을 연계할 수 있다. 즉, 연구 설계에 따라 필요한 정보가 담긴 DB를 선정한 후, 각 개인의 식별번호를 이용하여 연구에 필요한 정보를 분석에 용이하게 데이터 마이닝 하는 작업이 수행된다.

13) 본 연구에서 특별히 7대 대도시 인구로 한정된 이유는 두 가지가 있다. 첫 번째는 7대 대도시 외의 지역에는 대기오염측정소가 없는 행정지역이 다수 존재하기 때문에 미세먼지 데이터가 존재하지 않는 지역이 여럿 존재하기 때문이다. 이 경우 연구 결과의 일반화에 있어 한계가 있을 수밖에 없고 또한 결과의 왜곡을 초래할 수 있으므로 미세먼지 데이터가 잘 측정이 되어있는 7대 대도시의 행정지역들로 한정하였다. 두 번째 이유는 가능한 비슷한 생활환경을 공유하는 집단을 선정하고자 했기 때문이다. 측정치가 같은 미세먼지 농도라 하더라도, 주변에 도로가 많고 대기오염원이 많은 지역의 경우에는 상대적으로 그렇지 않은 지역보다 미세먼지 노출에 더욱 취약할 수 있다. 예컨대 같은 미세먼지 농도라 하더라도 도시에 거주하는 사람이 시골에 거주하는 사람보다 생활반경도 넓고 대기오염원에 노출될 가능성이 더 많을 것이다. 이 때문에 7대 대도시 인구로 한정하여 연구의 신뢰도를 높이고자 하였다.

DB 종류	DB 내역
자격 및 보험료 DB	<ul style="list-style-type: none"> ■ 생년월일, 성별, 나이, 거주지역 (시군구), 사업자/가입자 ■ 종합소득, 연금소득, 전월세, 재산세, 자동차세 등 과세자료 및 보수월액 ■ 국가유공자 명부, 장애인 등록자료(등급 및 유형)
진료 내역 DB	<ul style="list-style-type: none"> ■ 명세서 일반: 요양기관, 상병명, 내원일수, 요양개시일, 진료과목 등 ■ 진료내역: 병원 내의 처치 및 수술, 원내 약처방, 투여량, 진료비 등 <ul style="list-style-type: none"> ■ 수진자 상병내역: 부상병 추가한 상세 ■ 처방전교부 상세내역: 원외 처방약, 투약량, 투여일수, 약물정보 등
건강검진 DB	<ul style="list-style-type: none"> ■ 일반건강검진, 생애전환기 건강진단, 5대 암검진(위암/대장암/폐암/간암/유방암), 영유아 건강검진, 구강검진 ■ 문진치료(생활습관, 가족병력, 기왕력 등) ■ 검진결과 실측 데이터
요양기관 DB	<ul style="list-style-type: none"> ■ 생년월일, 성별, 나이, 보장기관(시도/시군구), 의료급여 유형 및 거주 지역 등 자격 자료 ■ 요양기관, 상병명, 내원일수, 요양일수, 요양개시일, 진료비 등 명세서 내역

[그림 8] 국민건강보험공단 표본코호트 자료 레이아웃

가. 연구 대상자 선정

본 연구에서는 20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구에 대해 연구를 진행하였으며, 질병의 경우 심혈관질환과 당뇨병을 각각 선정하여 살펴보았기 때문에 각 연령별로, 그리고 각 질병별로 연구 대상자를 다르게 선정하였다.

(1) 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환에 미치는 영향

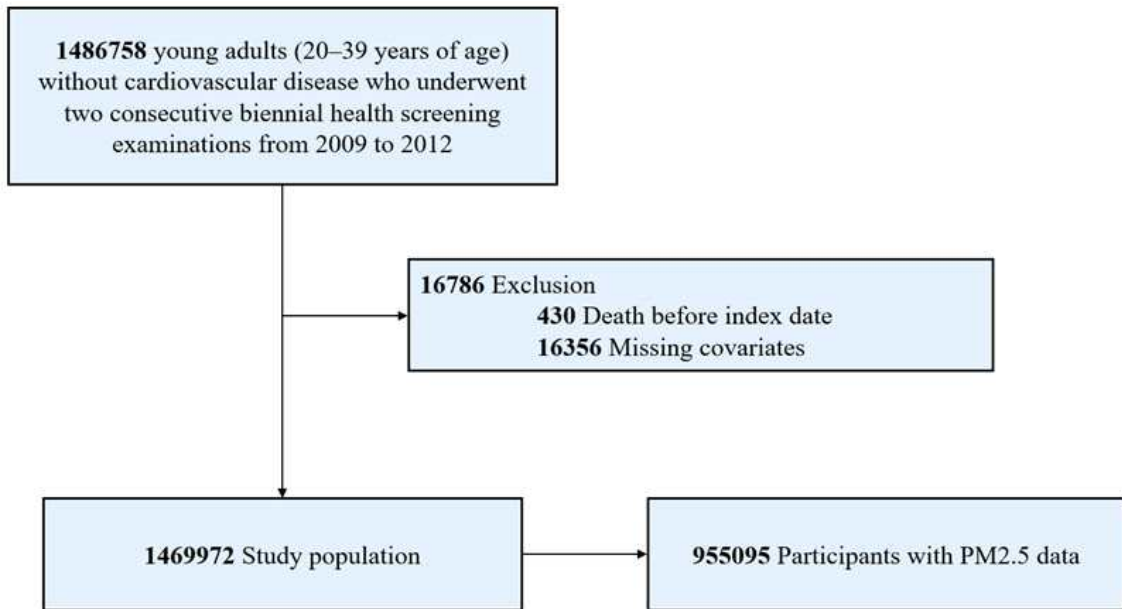
20-30대 젊은 성인에서 심혈관질환을 결과변수로 살펴본 경우, 국민건강보험공단 맞춤형 코호트 자료 중 자격DB의 연령과 거주지역 코드 및 검진DB를 활용하여 7대 대도시에서 거주하는 20-39세의 인구를 대상으로 2009년과 2010년 사이에, 그리고 2011년과 2012년 사이에 건강검진을 연속해서 각각 1번씩 총 2번 받은 인원을 연구 대상으로 선정하였다. 2009년부터 본 연구에서의 가장 중요한 변수인 ‘운동’에 대한 설문 문항이 이전과 달리 보다 자세하게 바뀌었기 때문에 2009년부터 모집 기간을 설정하였으며¹⁴⁾, 건강검진은 2년 주기로 진행되므로 2009-2010년과 2011-2012년 각각의 기간동안 건강검진을 받은 대상자를 본 연구의 연구 대상으로 선정하였다. 특히, 1번이 아닌 2번의 건강검진을 연속적으로 받은 대상자를 선정한 이유는 운동량의 변화에 따른 질병 발생 위험도까지도 분석을 진행하기 위해서는 2번의 건강검진 결과가 필요했기 때문이다. 즉, 두 번의 건강검진 사이에 운동량 증가 혹은 운동량 감소와 미세먼지의 혼합효과가 심혈관질환에 미치는 영향을 연구하기 위해 위와 같은 연구 대상자 선정 과정을 거친 것이며, 변화량이 아닌 한 시점에서의 미세먼지와 운동량의 혼합효과가 심혈관질환에 미치는 영향을 연구하는 경우에는 2011년과

14) 이전에는 운동의 횟수에 대해서만 자료가 있었다면, 2009년부터 운동의 강도와 운동 시간이 추가되었다.

2012년 사이의 건강검진 정보를 이용하여 분석을 진행하였다.

이렇게 일차적으로 연구 대상자를 선정한 후, 여기에 진료 내역DB의 주상병·부상병 코드를 활용하여 2013년 1월 1일 이전에 심혈관질환이 있었던 대상자를 제외하여 가능한 한 건강한 젊은 성인만을 연구 대상으로 선정하고자 하였다. 후술하겠으나 심혈관질환 경험자는 국제질병사인분류 (International Classification of Diseases, 10th revision, ICD-10)를 기준으로 I20-I25와 I60-I69에 해당하는 진단명을 받았으면서 2일 이상 입원한 환자로 정의하여 제외하였다.

이러한 과정을 거쳐 선정된 7대 대도시 거주 20-30대 젊은 성인은 1,486,758명이었으며, 이 중 2013년 1월 1일 이전에 사망한 430명의 대상자와 주요변수 및 보정변수 데이터가 누락된 16,456명의 대상자를 추가적으로 제외하였다. 결국 1,469,972명의 대상자가 최종 연구 대상으로 선정되었으며, 해당 대상자들을 2013년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 추적 관찰하여 심혈관질환 발생 여부를 살펴보았다. 뒤에서 후술하겠으나 이 중 PM2.5 데이터가 존재하는 지역은 3개 대도시 (서울, 부산, 인천)뿐이므로, PM2.5를 이용한 분석을 위해 해당 대도시에 거주하는 955,095명의 대상자를 따로 추려내는 과정을 거쳤다. 아래 그림은 연구 대상자 선정 과정을 나타낸 흐름도이다.



[그림 9] 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환에 미치는 영향 연구 대상자 선정 흐름도

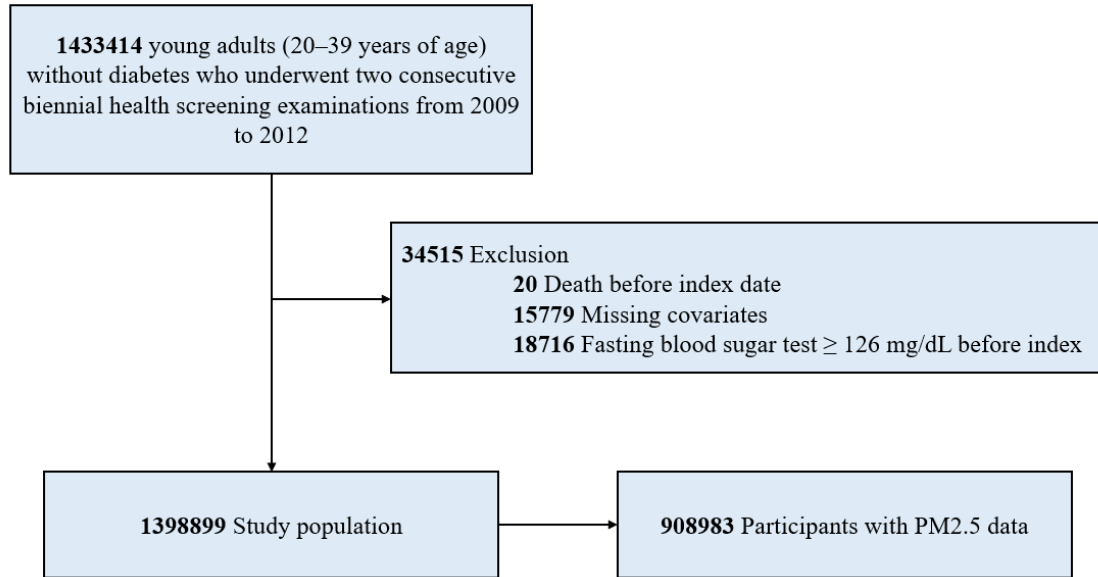
(2) 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향

20-30대 젊은 성인에서 당뇨병을 결과변수로 살펴본 경우, 앞서 심혈관질환을 결과변수로 살펴본 경우와 마찬가지로 국민건강보험공단 맞춤형 코호트 자료 중 자격DB의 연령과

거주 지역 코드 및 검진DB를 활용하여 7대 대도시에 거주하는 20-39세의 인구를 대상으로 2009년과 2010년 사이에, 그리고 2011년과 2012년 사이에 건강검진을 연속해서 각각 1번씩 총 2번 받은 인원을 연구 대상으로 선정하였다. 이 경우에도 굳이 1번이 아닌 2번의 건강검진을 연속적으로 받은 대상자를 선정한 이유는 운동량의 변화에 따른 당뇨병 발생 위험도까지도 분석을 진행하기 위해서는 2번의 건강검진 결과가 필요했기 때문이다. 따라서 이를 토대로 두 번의 건강검진 사이에 운동량 증가 혹은 운동량 감소와 미세먼지의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향을 연구하였으며, 변화량이 아닌 한 시점에서의 미세먼지와 운동량의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향을 연구하는 경우에는 2011년과 2012년 사이의 건강검진 정보를 이용하여 분석을 진행하였다.

더불어 여기에 진료 내역DB의 주상병·부상병 코드를 활용하여 2013년 1월 1일 이전에 당뇨병이 있었던 대상자를 제외하여 건강한 젊은 성인을 연구 대상으로 선정하고자 하였다. 이 역시 후술하겠으나 당뇨병 환자는 ICD-10을 기준으로 E11-E14에 해당하는 진단명과 당뇨 약제를 처방받은 경우로 정의하였는데, 기존에 당뇨병 관련한 병력이 있을 수 있는 가능성이 있는 모든 환자들을 가능한 폭넓게 제외하여 최대한 건강한 젊은 성인만을 남기기 위해, E10-E14에 해당하는 ICD-10 진단명을 가진 경우 약제를 처방받지 않더라도 모두 연구 대상자에서 제외하였다.

이러한 과정을 거쳐 선정된 7대 대도시 거주 20-30대 젊은 성인은 1,433,414명이었으며, 이 중 2013년 1월 1일 이전에 사망한 20명의 대상자와 주요변수 및 보정변수 데이터가 누락된 15,779명의 대상자를 추가적으로 제외하였다. 여기에 추가적으로 공복혈당이 126mg/dL 이상인 경우에도 당뇨병이 강하게 의심되므로 이에 해당하는 18,716명의 대상자도 연구에서 제외하였다. 결국 1,398,899명의 대상자가 최종 연구 대상으로 선정되었으며, 해당 대상자들을 2013년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 추적 관찰하여 심혈관질환 발생 여부를 살펴보았다. 마찬가지로 이 중 PM2.5 데이터가 존재하는 지역은 3개 대도시(서울, 부산, 인천)뿐이므로, PM2.5를 이용한 분석을 위해 해당 대도시에 거주하는 908,983명의 대상자를 따로 추려내는 과정을 거쳤다. 아래 그림은 연구 대상자 선정 과정을 나타낸 흐름도이다.



[그림 10] 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향 연구 대상자 선정 흐름도

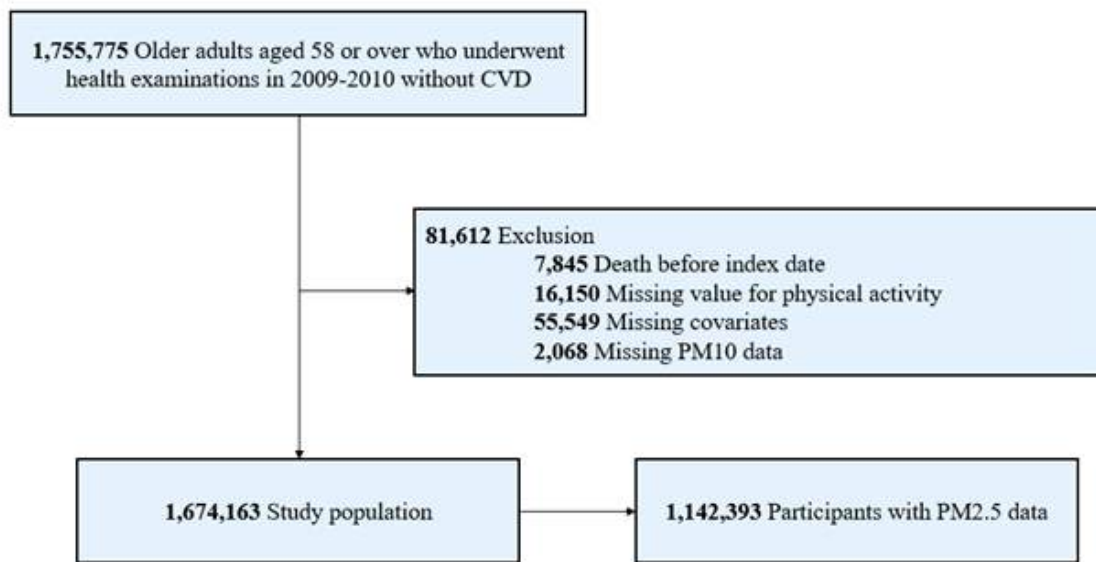
(3) 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환에 미치는 영향

58세 이상 고령 인구에서 심혈관질환을 결과변수로 살펴본 경우, 국민건강보험공단 맞춤형 코호트 자료 중 자격DB의 연령과 거주지역 코드 및 검진DB를 활용하여 7대 대도시에서 거주하는 58세 이상의 인구를 대상으로 2009년과 2010년 사이에 건강검진을 받은 인원을 연구 대상으로 선정하였다. 특이점이라고 한다면 앞선 20-30대 젊은 성인에서는 2009년과 2010년, 그리고 2011년과 2012년 사이에 건강검진을 각각 1번씩 총 2번 받은 인원을 연구 대상으로 선정한 것과 달리 58세 이상 고령 인구에서는 2009-2010년 사이에 건강검진을 받은 인원을 연구 대상으로 선정했다는 점이다. 이는 58세 이상 고령 인구의 코호트 자료에서의 데이터 이용의 한계로 인해 운동량 변화에 따른 질병 발생 위험도를 볼 수 없었기 때문이며, 따라서 58세 이상 고령 인구에서는 2009-2010년 사이에 한 시점에서의 미세먼지와 운동량의 혼합효과가 심혈관질환에 미치는 영향에 대해서만 연구를 진행하였다.

2009-2010년 사이에 건강검진을 받은 7대 대도시 거주 58세 이상 고령 인구를 추출한 후, 여기에 진료 내역DB의 주상병·부상병 코드를 활용하여 2011년 1월 1일 이전에 심혈관질환이 있었던 대상자를 제외하여 건강한 고령 인구만을 연구 대상으로 선정하고자 하였다. 앞서와 마찬가지로 심혈관질환의 정의는 ICD-10을 기준으로 I20-I25와 I60-I69에 해당하는 진단명을 받았으면서 2일 이상 입원한 경우에 심혈관질환 발생으로 정의하여 해당 인원들을 제외하였다.

이러한 과정을 거쳐 선정된 7대 대도시 거주 58세 이상 고령 인구는 1,755,775명이었으며, 이 중 2011년 1월 1일 이전에 사망한 7,845명의 대상자와 운동 정보가 없는 16,150명, 주요변수 및 보정변수 데이터가 누락된 55,549명의 대상자를 추가적으로 제외하였다. 이에

더하여 PM10 데이터가 누락된 2,068명의 대상자 역시 연구에서 제외하였다. 최종적으로 1,674,163명의 인원이 최종 연구 대상자로 선정되었으며, 해당 대상자들을 2011년 1월 1일부터 2016년 12월 31일까지 추적 관찰하여 심혈관질환 발생 여부를 살펴보았다. 특히, 이러한 최종 대상자 중 PM2.5 데이터가 존재하는 지역인 3개 대도시에 거주하는 1,142,393명의 대상자를 따로 선별하여 이들을 대상으로 PM2.5를 이용한 분석을 진행하였다. 아래 그림은 연구 대상자 선정 과정을 나타낸 흐름도이다.



[그림 11] 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환에 미치는 영향 연구 대상자 선정 흐름도

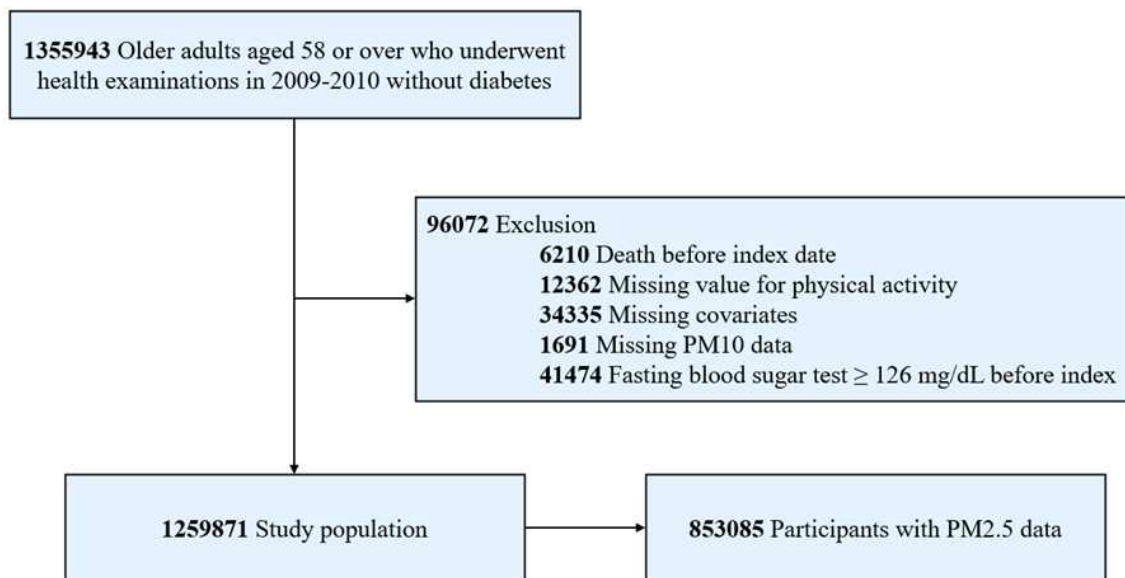
(4) 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향

58세 이상 고령 인구에서 당뇨병을 결과변수로 살펴본 경우, 앞서와 마찬가지로 국민건강보험공단 맞춤형 코호트 자료 중 자격DB의 연령과 거주지역 코드 및 검진DB를 활용하여 7대 대도시에 거주하는 58세 이상의 인구를 대상으로 2009년과 2010년 사이에 건강검진을 받은 인원을 연구 대상자로 선정하였다. 이 경우에도 58세 이상 고령 인구의 코호트 자료에서는 데이터 이용의 한계로 인해 운동량 변화에 따른 당뇨병 발생 위험도를 볼 수 없었기 때문에, 58세 이상 고령 인구에서는 2009-2010년 사이에 한 시점에서의 미세먼지와 운동량의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향에 대해서만 연구를 진행하였다.

추가적으로 여기에 진료 내역DB의 주상병·부상병 코드를 활용하여 2011년 1월 1일 이전에 당뇨병이 있었던 대상자를 제외하여 건강한 고령 인구만을 연구 대상자로 선정하고자 하였다. 앞서와 마찬가지로 당뇨병 환자는 ICD-10을 기준으로 E11-E14에 해당하는 진단명과 당뇨 약제를 처방받은 경우로 정의하였으나, 최대한 건강한 대상자를 선정하기 위해

연구 대상자에서 제외할 때는 당뇨 약제를 처방받지 않더라도 ICD-10 기준 E11-E14에 해당하는 진단명을 받은 인원은 제외하였다.

이러한 과정을 거쳐 선정된 7대 대도시 거주 58세 이상 고령 인구는 1,355,943명이었으며, 이 중 2011년 1월 1일 이전에 사망한 6,210명의 대상자와 운동 정보가 없는 12,362명, 주요변수 및 보정변수 데이터가 누락된 34,335명의 대상자를 추가적으로 제외하였다. 이에 더하여 PM10 데이터가 누락된 1,691명의 대상자 역시 연구에서 제외하였다. 또한 공복혈당이 126mg/dL 이상인 경우에는 당뇨병이 강하게 의심되는 상태이므로 이러한 상태인 41,474명의 대상자도 연구에서 제외하였다. 최종적으로 1,259,871명의 인원이 최종 연구 대상자로 선정되었으며, 해당 대상자들을 2011년 1월 1일부터 2016년 12월 31일까지 추적 관찰하여 당뇨병 발생 여부를 살펴보았다. 최종 대상자 중 PM2.5 데이터가 존재하는 지역인 3개 대도시에 거주하는 853,085명의 대상자는 따로 추출하여 이들을 대상으로 PM2.5를 이용한 분석을 진행하였다. 아래 그림은 연구 대상자 선정 과정을 나타낸 흐름도이다.



[그림 12] 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향 연구 대상자 선정 흐름도

나. 심혈관질환 및 당뇨병의 조작적 정의

심혈관질환 및 당뇨병 발생에 대한 조작적 정의는 연구의 성격에 따라 다를 수 있으며, 또한 질병을 얼마나 엄격하게 정의하느냐에 따라라도 달라질 수 있다. 앞서 몇 차례 간단하게 서술은 하였으나, 본 연구에서는 질병 발생을 보다 엄격하게 정의하여 최대한 심혈관질환 및 당뇨병의 실제 발생을 반영하고자 목표하였다. 이에 따라 심혈관질환의 경우에는 코호트 자료의 진료 내역 DB의 주상병, 부상병 코드를 활용하여 국제적으로 공인되어 쓰이는 질병분류인 ICD-10 코드를 기준으로 심혈관질환 코드 (I20-I25 [관상동맥질환], I60-I69

[허혈성 뇌졸중, 출혈성 뇌졸중]에 해당하면서, 동시에 해당 질병으로 인해 2일 이상 병원에 입원한 경우를 심혈관질환 발생으로 정의하였다. 당뇨의 경우에는 ICD-10 코드를 기준으로 당뇨병 코드 (E10-14)에 해당함과 동시에 당뇨 약제를 함께 처방 받은 경우에 실제 당뇨가 발생한 것으로 조작적 정의하였다. ICD-10 코드만을 사용하여 심혈관질환 및 당뇨병 발생을 정의할 경우, 실제 심혈관질환이나 당뇨병 환자가 아님에도 불구하고 처음에 해당 질병으로 의심되어 해당 질병의 ICD-10 코드를 사용한 경우나, 진료 편의상 해당 질병으로 ICD-10 코드를 지정한 위양성 환자를 걸러낼 수 없다. 따라서 심혈관질환의 경우에는 2일 이상 입원이라는 조건을 함께 추가하고 당뇨병의 경우에는 당뇨 약제를 동시에 처방받는 조건 등을 함께 고려하는 것이 최대한 실제 심혈관질환 및 당뇨병 발생을 감지하는 방법이라고 할 수 있다. 더불어 심혈관질환의 경우 ICD-10 코드와 함께 2일 이상 입원한 첫 날을 심혈관질환의 발생 날짜로, 당뇨병의 경우 ICD-10 코드와 함께 당뇨병 약제를 처음으로 처방받은 날짜를 당뇨병 발생 날짜로 정의하였다.

다. 운동량 및 건강행태 정보 수집

국민건강보험공단 코호트 자료 내의 국가건강검진 설문조사 결과를 바탕으로 운동량 및 건강행태 (흡연, 음주 등) 정보를 수집하였다. 신체활동은 1주일에 20분 이상 격렬한 운동 (vigorous physical activity; 달리기, 에어로빅, 빠른 속도로 자전거 타기, 등산 등)을 몇 회 했는지, 30분 이상 중간 정도 운동 (moderate physical activity; 빠르게 걷기, 복식 테니스 치기, 보통 속도로 자전거 타기, 옆드려 걸레질 하기 등)을 몇 회 했는지, 30분 이상 걷기/가벼운 정도 운동 (light physical activity; 가벼운 운동, 출퇴근이나 여가시간 걷기)을 몇 회 했는지 운동에 참여한 횟수를 기입하는 방식으로 구성이 되어 있다. 따라서 이를 토대로 각 연구 대상자가 1주일당 어떤 강도의 운동을 몇 회 했는지에 대한 정보를 개인별로 수집하고 이를 운동량으로 환산하였다.

이 때, 20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구는 서로 다른 방식으로 운동량을 산출하였다. 결론부터 이야기하면 20-30대 젊은 성인의 경우에는 가벼운 강도, 중간 강도, 격렬한 강도의 운동에 해당하는 운동량 정보를 모두 수집하여 이를 신진대사해당치 (Metabolic Equivalent Task; MET)¹⁵⁾ 정량적으로 환산하였다. 반면 58세 이상의 경우 가벼운 강도 운동은 반영하지 않고 중간 강도와 격렬한 강도의 운동을 1주일이 몇 회 했는지에 대한 정보만 수집하여 이를 운동량으로 환산하였다.

이렇게 연령 별로 운동량 환산법이 다른 이유는 바로 연령 별 운동의 패턴이 상당히 다르기 때문이다. 잠시 국제적으로 권장되는 운동의 가이드라인을 참고해보자. Piercy et al.

15) 휴식 중인 일반적 상태일 때 몸에서 필요로 하는 에너지 및 산소의 양. 1MET은 1분에 1kg당 필요한 산소가 3.5mL임을 의미한다 (1MET=3.5mL/kg/min). 즉, MET은 사용하는 에너지를 산소섭취량으로 환산하는 단위이다. 일반적으로 5km/h의 속도로 걸으면 MET은 3.3 정도이므로, 60분간 걷게되면 200 MET-분 이 되는 것이다. 여기서 가벼운 강도는 2.9 MET, 중간 강도는 4 MET, 격렬한 강도는 7 MET을 부여하였다. 이러한 운동 강도별 MET score 배정은 선행 논문을 참조하였다 (Jeong et al., 2019).

(2018)에 따르면, 1주일 동안 150-300분 이상의 중간 강도의 운동을 하거나 75-150분 이상의 격렬한 강도의 운동을 하는 것이 권장된다. 즉, 국제적 운동 가이드라인 상에는 가벼운 강도의 운동은 충분한 운동의 범위에 포함되지 않는다. 또한 이를 국민건강보험공단 건강검진의 설문 조사와 대비해보면, 중간 강도 운동과 격렬한 강도 운동의 횟수가 1주일에 5회 이상일 때 국제적인 운동 가이드라인을 충족한다는 것을 알 수 있다. 따라서, 1주일 동안 중간 강도 및 격렬한 강도의 운동을 합한 횟수가 5회 이상인 경우를 ‘권장’ 기준으로 두고 그에 따라 중간-격렬 운동을 전혀 하지 않는 군, 1-2회/주 하는 군, 3-4회/주 하는 군을 나누어 카테고리화 하여 연구를 진행하는 것이 보다 합당하다고 볼 수 있다. 그리고 이것이 58세 이상 고령 인구에 적용한 운동량 산출 방식이다.

그러나 앞서 언급했듯이 20-30대 젊은 성인의 경우에는 가벼운 강도, 중간 강도, 격렬한 강도의 운동에 해당하는 운동량 정보를 모두 수집하여 MET score로 환산하였다. 이렇게 가벼운 강도의 운동까지 포함하여 정량적으로 환산한 이유는, 우리나라 20-30대 젊은 성인의 경우에는 연령대 특성상 사회적으로 활발한 경제활동을 하는 시기이기 때문에, 출퇴근 길이나 걷기 등과 같은 운동량이 고령 인구에 비해 상당히 높기 때문이다. 뿐만 아니라 똑같이 가벼운 걷기 혹은 출퇴근 시의 걷기라 하더라도, 20-30대 젊은 성인에서의 걷는 운동은 고령 인구에게 있어서의 활발한 걷기 (중간 강도 운동에 해당하는)의 운동량과 상당히 유사할 수 있기 때문에, 이러한 가벼운 강도의 운동이라 할지라도 전체 운동량에 반영을 하는 것이 보다 타당하다고 판단하였다.

앞서 서술한 국제적인 운동 가이드라인은 MET score를 기반으로 한 가이드라인도 제시되어 있는데, 현재 적어도 1주일에 500-1000 MET-분 정도의 운동을 하도록 권장하고 있다. 따라서 20-30대 젊은 성인에서는 0 MET-분/주, 1-499 MET-분/주, 500-999 MET-분/주(국제적 운동 가이드라인 권장량), 1000 MET-분/주 이상으로 카테고리화 하여 연구를 진행하였다.

운동을 제외한 건강행태, 즉 흡연이나 음주 등은 아래와 같이 문진이 구성되어 있다. 흡연상태 설문의 경우 피우지 않는다 (non-smoker), 과거에 피웠으나 지금은 끊었다 (past-smoker), 현재도 피운다 (current smoker)로 조사되었다. 음주 상태는 1주일 동안의 음주 횟수를 조사하고 1회 음주량에 대한 조사 결과를 포함하고 있다. 이러한 자료들을 모두 수집하여 본 연구의 보정 변수로써 반영하였다.

2. 미세먼지 데이터 추출 및 노출량 추정

미세먼지 데이터의 경우 국가대기오염정보관리시스템(NAMIS)을 이용하면 전국 곳곳에 약 280여 개에 달하는 대기오염 측정소의 데이터를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 지역별 체계적인 미세먼지 정보를 수집하기 위해 환경부에서 제공하는 시군구별 대기오염 정보(대기오염물질: PM10, PM2.5를 포함한 SO₂, NO₂와 같은 여러 물질들)들을 환경부 디지털 도서관 (<http://library.me.go.kr/index.ax>)을 통해 “대기환경연보” 검색하여 데이터 파일을 확보하였다. 이 중 데이터 파일 내에 존재하는 “월별대기 오염도 (측정소별)” 엑셀 파일에 각 시군구 지역별, 월별 PM10, PM2.5 데이터가 포함되어 있기 때문에, 이를 이용하여 시군구별 미세먼지 농도 데이터를 정리 요약하였다. 특히, 각 지역별로 월별 미세먼지 농도 평균을 수집한 후, 이를 연간 평균 농도로 환산하여 미세먼지 노출의 장기효과를 평가하고자 하였다.

PM10과 PM2.5는 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 단위로 정리되어 있으며, 측정 실시 연도 자체는 1998년부터이나 본 연구에서 사용된 미세먼지 데이터는 2009~2012년이므로, 총 4개년도에 대해 데이터를 정리하고 구축하였다. 다만 이 중 PM2.5는 공식 측정이 2015년도부터 시작이 되었기 때문에, 그 이전 데이터는 공식적으로는 공개가 되어있지 않다. 따라서 정보공개포털 (<http://www.open.go.kr>)을 통해 2015년 이전의 PM2.5 데이터를 자체적으로 측정했을 것으로 예상되는 7대 대도시에 대해 따로 정보공개청구를 요청하였고, 이 중 서울, 부산, 인천 3개 대도시에서 2015년 이전의 측정자료를 제공받았다. 3개 대도시가 모두 자료가 존재하는 시점은 2008년부터였기 때문에 (서울은 2008~2014년, 부산과 인천은 2005~2014년까지의 PM2.5 측정 자료가 존재함), 2009년부터의 자료가 필요했던 본 연구를 수행하는 데 문제가 없었다. 다만, 서울, 부산, 인천 3개 대도시를 제외한 나머지 4개 대도시 (대전, 대구, 광주, 울산)는 PM2.5 측정자료가 없었으므로 연구 대상에서 제외하였다.

이렇게 각 시군구별로 PM10 및 PM2.5 데이터를 확보하고 정리하였으며, 국민건강보험공단 코호트 자료와의 연계를 위해 시군구 코드를 이용하여 각 지역 정보를 표시하였다. 7대 대도시의 행정구역은 거의 대부분 적어도 1개의 대기오염측정소가 있었기에 대부분 지역의 미세먼지 농도를 알 수 있지만, 그럼에도 불구하고 측정소가 없는 지역이 존재하는 경우에는 해당 행정지역에서 가장 가까운 인근 측정소의 미세먼지 측정 수치를 사용하였다.

3. 데이터 베이스 연계

국민건강보험공단의 건강보험 자격DB에는 각 대상자의 거주 지역이 시군구 코드로 정리되어 있어, 앞서 지역별로 정리한 미세먼지 데이터를 동일한 시군구 코드로 연계함으로써 각 개인의 미세먼지 노출량을 추정하였다. 즉, 각 개인의 거주 지역을 바탕으로 해당 거주 지역의 PM10, PM2.5 농도를 곧 개인의 미세먼지 노출량으로 추정하였다. 그리고 이렇게 추정된 미세먼지 노출량을 낮음/중간, 높음 (70백분위수 기준¹⁶⁾)으로 카테고리화 하여 미세먼지의 농도 수준에 따라 그룹을 나누고자 하였다. 최종적으로 연계된 데이터 베이스를 바탕으로 미세먼지 노출과 운동의 혼합효과가 심혈관질환 및 당뇨병에 미치는 영향을 20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구에서 각각 살펴보았다.

4. 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 심혈관질환 및 당뇨병 위험 평가: 코호트 분석 디자인

본 연구에서는 앞서 구축한 연계 데이터베이스를 기반으로 미세먼지 노출과 운동의 혼합효과가 심혈관질환 및 당뇨병에 미치는 영향을 추적 관찰하는 종단적 후향적 코호트 (longitudinal retrospective cohort) 디자인을 채택하였다. 즉, 추적 관찰기간 동안에 발생하는 심혈관질환 및 당뇨병을 감지하고, 이러한 질병 발생이 미세먼지와 운동의 혼합효과에 따라 어떻게 발생 위험도가 달라지는지를 살펴보았다. PM10에 대해서는 앞서 언급한 7대 대도시에 거주하는 연구 대상자 전체에 대해 분석을 시행하였으며, PM2.5에 대해서는 서울, 인천, 부산 3개 대도시에 대해서만 측정 데이터가 존재하기 때문에 분석 대상자를 해당 3대 대도시 거주자로 한정하여 분석을 진행하였다.

본 연구에 포함된 연구 대상자들은 연령대에 따라 추적관찰 기간이 달랐는데¹⁷⁾, 20-30대 젊은 성인의 경우에는 2013년 1월 1일부터 추적관찰을 시작하여 심혈관질환을 연구대상 질병으로 본 경우에는 심혈관질환이 발생하거나, 사망하거나, 혹은 2018년 12월 31일이 되면 심혈관질환이 발생하지 않더라도 추적관찰을 중단하였다 (20-30대 젊은 성인의 경우 맞춤형 코호트의 총 추적관찰 기간이 2018년 12월 31일까지이기 때문). 당뇨병을 연구대상 질병으로 본 경우에는 당뇨병이 발생하거나, 사망하거나, 혹은 2018년 12월 31일이 되면 당뇨병이 발생하지 않더라도 추적관찰을 중단하였다. 58세 이상 고령 인구의 경우에는 2011년 1월 1일부터 추적관찰을 시작하여 심혈관질환을 연구대상 질병으로 본 경우에는 심혈관질환이 발생하거나, 사망하거나, 혹은 2016년 12월 31일이 되면 심혈관질환이 발생하

16) 이는 선행 연구의 기준을 차용하였다 (Andersen et al., 2015)

17) 앞서 연구 방법에서 서술한 바와 같이, 20-30대 젊은 성인에서는 운동량의 변화와 미세먼지의 혼합효과가 미치는 건강 영향도 함께 살펴보았기 때문에 4개년도 (2009-2012년) 동안의 모집 기간이 필요했던 반면, 58세 이상 젊은 성인에서는 2개년도 (2009-2010년) 동안의 모집 기간으로 충분했다. 이러한 이유로 추적관찰 시작 기간이 달랐다.

지 않더라도 추적관찰을 중단하였다 (58세 이상 고령 인구의 경우 맞춤형 코호트의 총 추적관찰 기간이 2016년 12월 31일까지이기 때문)¹⁸⁾. 마찬가지로 당뇨병을 연구대상 질병으로 본 경우에는 당뇨병이 발생하거나, 사망하거나, 혹은 2016년 12월 31일이 되면 당뇨병이 발생하지 않더라도 추적관찰을 중단하였다.

앞서 서술한 바와 같이 각 연령대 별로 미세먼지는 개인별 미세먼지 노출량을 낮음/중간, 높음 (70백분위수 기준)으로 카테고리화 하여 정의하였고, 운동은 20-30대 젊은 성인의 경우에는 MET score로 정량화하여 0, 1-499, 500-999 (국제적 권장량), 1000 MET-분/주 이상으로 카테고리화하여 정의하였다. 58세 이상 고령 인구의 경우에는 중간-격렬 강도의 운동을 시행한 횟수를 기준으로 0, 1-2, 3-4, 5회 이상으로 카테고리화하여 정의하였다. 또한, 20-30대 젊은 성인의 경우에는 운동량 변화와 미세먼지의 혼합효과도 살펴보고자 했으므로 이 때의 운동량 변화는 두 번째 건강검진을 통해 산출한 운동량에서 첫 번째 건강검진을 통해 산출한 운동량을 빼서 산출하였다. 즉, 만약 운동량 변화가 -가 나왔다면 첫 번째 건강검진 때에 비해 두 번째 건강검진 때 운동량이 줄어들었음을 의미하며, 변화가 +라면 운동량이 증가하였음을 의미하였다.

이후 두 독립변수의 혼합효과에 따른 심혈관질환 및 당뇨병 발생을 콕스비례위험회귀분석 (Cox proportional hazards regression analysis)을 활용하여 분석을 시행하였다. 이 분석 방법을 토대로 미세먼지와 운동의 혼합효과가 야기하는 심혈관질환 및 당뇨 발생 위험비 (Hazard ratio; HR)와 95% 신뢰구간 (Confidence interval; CI)을 산출하였다. 이 때 크게 두 가지 방향성을 토대로 분석을 진행하였는데, 첫 번째로 운동과 미세먼지를 혼합한 카테고리 (joint category)를 설정하였다. 즉, 예컨대 58세 이상 고령 인구를 기준으로 한다면 미세먼지 노출 농도가 낮은·중간 지역에 거주하면서¹⁹⁾ + 중간-격렬 운동을 전혀 하지 않는 그룹 / 1주일에 1-2회 하는 그룹 / 1주일에 3-4회 하는 그룹 / 1주일에 5회 이상 하는 그룹과 미세먼지 노출 농도가 높은 지역에 거주하면서²⁰⁾ + 중간-격렬 운동을 전혀 하지 않는 그룹 / 1주일에 1-2회 하는 그룹 / 1주일에 3-4회 하는 그룹 / 1주일에 5회 이상 하는 그룹 (이상 총 8개 그룹)으로 joint category를 설정하였다²¹⁾. 이후 이러한 각 카테고리의 혼합효과를 미세먼지 농도가 높은 지역에 거주하면서 운동을 전혀 하지 않는 인원을 대조군으로 삼아 비교하여 심혈관질환 및 당뇨병 발생의 위험비(Hazard ratio; HR)와 95% 신뢰구간(95% CI)을 산출하였다. 상기 기술한 대조군(미세먼지 농도가 높은 지역에 거주하

18) 20-30대 젊은 성인과 추적 관찰 종료 기간이 다른 이유는 두 코호트DB의 정보량 자체가 달랐기 때문이다. 20-30대 젊은 성인의 경우에는 비교적 늦게 데이터베이스를 구축했기 때문에 최신 기간의 정보(2018년)까지 포함되어 있는 반면, 58세 이상 고령 인구의 경우에는 이미 이전에 데이터 베이스가 구축되었기 때문에 2016년도까지만 건강행태 및 질병발생 정보가 포함되어 있다.

19) 이는 곧 낮은·중간 농도의 미세먼지에 노출된 집단을 의미한다.

20) 이는 곧 높은 농도의 미세먼지에 노출된 집단을 의미한다.

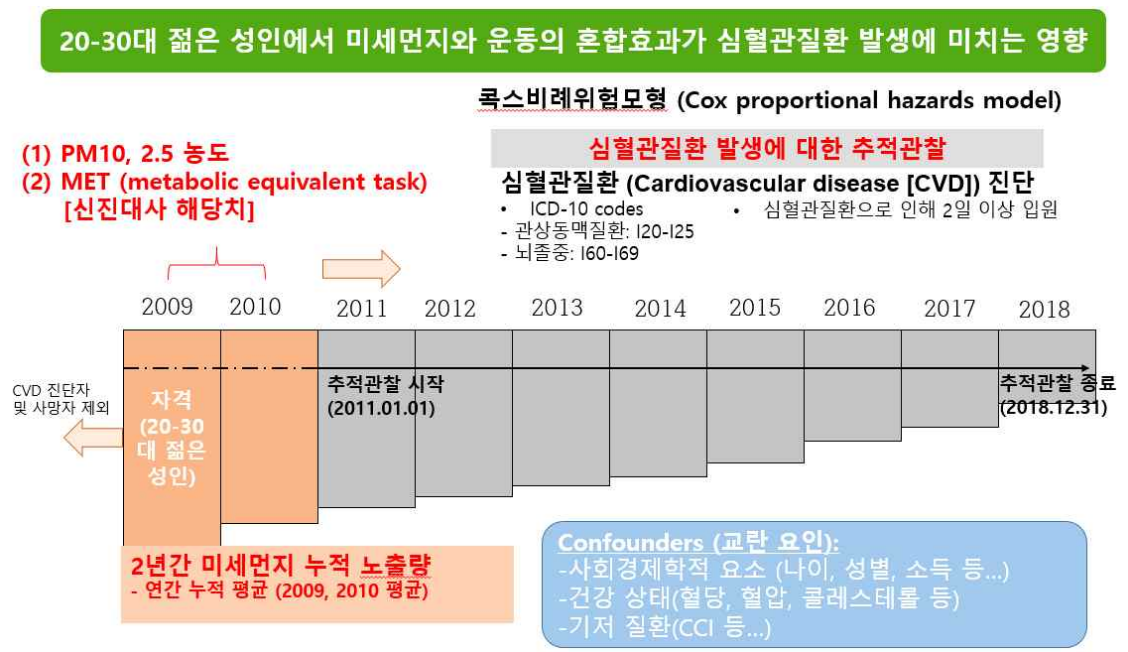
21) 마찬가지로 20-30대 젊은 성인에서라면 미세먼지 노출 농도가 낮은·중간 지역에 거주하면서 + 0 MET-분/주인 그룹 / 1-499 MET-분/주인 그룹 / 500-999 MET-분/주인 그룹 / 1000 이상 MET-분/주인 그룹과 미세먼지 노출 농도가 높은 지역에 거주하면서 + 0 MET-분/주인 그룹 / 1-499 MET-분/주인 그룹 / 500-999 MET-분/주인 그룹 / 1000 이상 MET-분/주인 그룹, 총 8개 그룹으로 joint category를 설정하였다.

면서 중간-격렬 운동을 전혀 하지 않는 인원)은 일반적으로 가장 건강에 나쁠 것으로 기대되는 그룹으로, 다른 그룹들에서는 미세먼지와 운동의 혼합효과가 어떤 건강 영향을 나타낼지에 대해 비교하고자 위와 같은 그룹을 대조군을 설정하였다. 두 번째로는 각 미세먼지 농도 수준으로 층화하여 비슷한 미세먼지 노출 농도를 공유하는 군끼리 비교를 시행하였다. 예컨대 58세 이상 고령 인구를 기준으로 한다면 미세먼지 노출 농도가 낮은 지역에 거주하는 인원들에 한정하여, 1주일에 운동을 전혀 하지 않는 군에 비해 1-2회 하는 그룹, 3-4회 하는 그룹, 5회 이상 하는 그룹은 각각 심혈관질환 및 당뇨병 발생 위험도가 어떠한지 분석을 시행하였다. 이를 통해 비슷한 미세먼지 노출 농도를 공유하는 경우에 운동을 하는 것이 유리할지, 불리할지를 살펴보고자 하였다.

더불어 보다 정확한 결과를 얻기 위해 심혈관질환 및 당뇨 발생에 영향을 미칠 수 있는 다양한 교란변수들을 보정하였다. 본 연구에서 고려한 교란 변수는 나이, 성별, 소득수준, 체질량지수(BMI), 흡연 여부, 음주 여부, 혈압, 혈당, 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수(CCI)이며, 이러한 모든 교란 변수들을 모두 보정하여 운동과 미세먼지의 혼합효과가 심혈관질환 및 당뇨병에 가지는 영향을 최대한 정확하게 독립적으로 보고자 노력하였다.

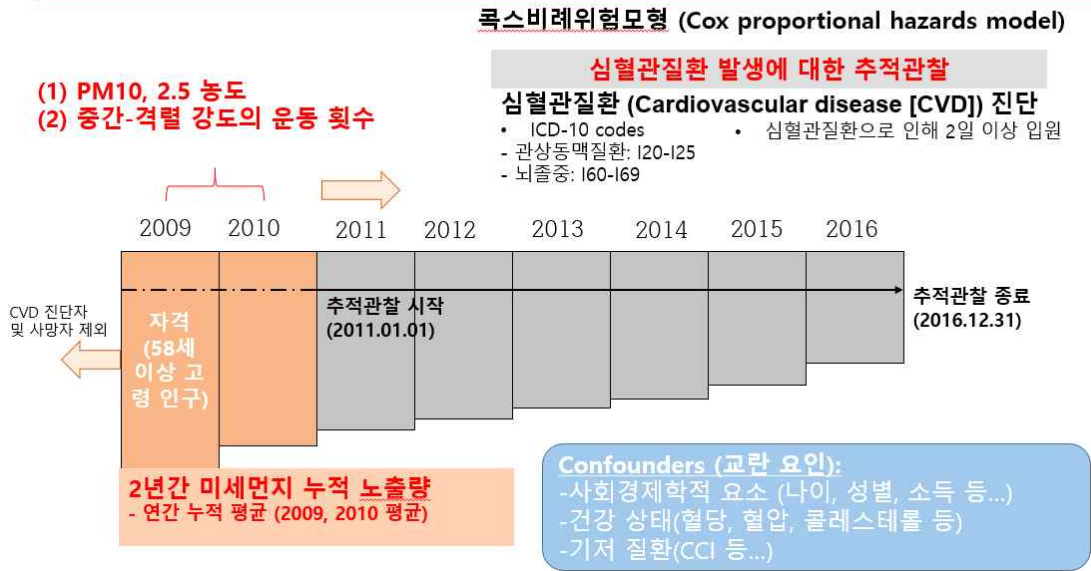
통계적 유의수준의 cut-off value는 0.05로 설정하였으며, 따라서 P value가 0.05보다 작으면 통계적으로 유의한 것으로 정의하였다. 또한 이러한 모든 통계분석 및 데이터 수집 등은 SAS ver. 9.4 (SAS Institute Inc) 프로그램을 이용하여 수행하였다.

아래 그림들은 20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구에서 각각 심혈관질환 및 당뇨병을 대상 질환으로 설정했을 때 설계한 연구 디자인의 모식도이다.



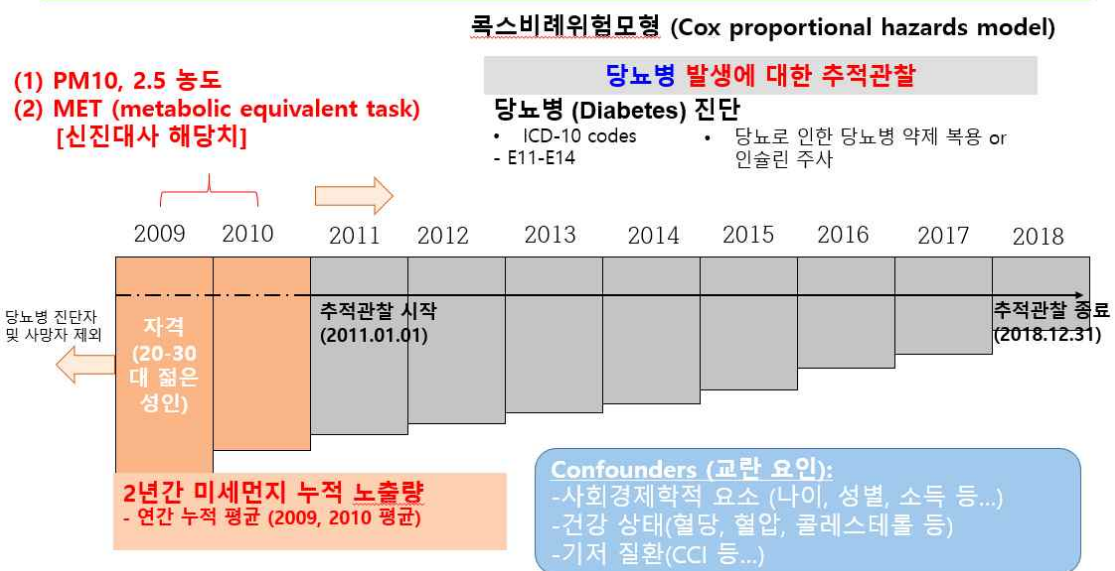
[그림 13] 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환 발생에 미치는 영향 연구 디자인 모식도

58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환 발생에 미치는 영향



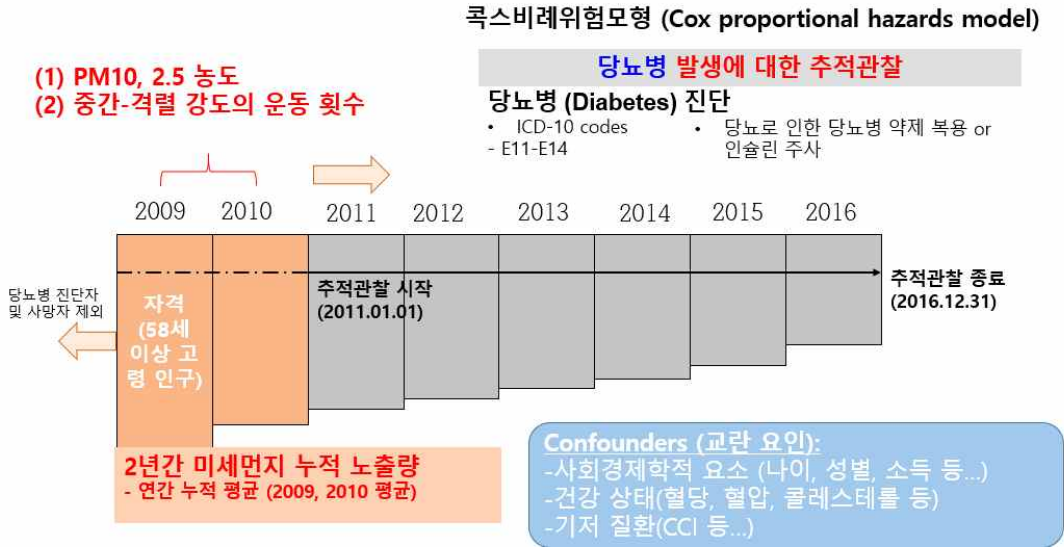
[그림 14] 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환 발생에 미치는 영향 연구 디자인 모식도

20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병 발생에 미치는 영향



[그림 15] 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병 발생에 미치는 영향 연구 디자인 모식도

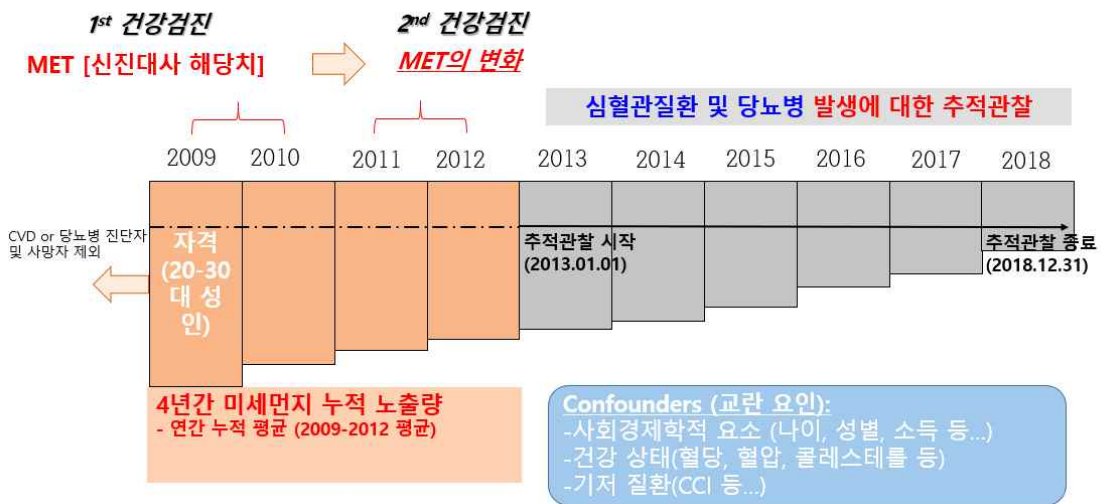
58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병 발생에 미치는 영향



[그림 16] 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병 발생에 미치는 영향 연구 디자인 모식도

아래는 20-30대 젊은 성인에서 추가적으로 운동량 변화와 미세먼지의 혼합효과가 심혈관질환 및 당뇨병 발생에 미치는 영향을 분석한 연구 디자인의 모식도이다.

* 운동량 변화에 따른 질환 별 위험도 (20-30대 젊은 성인)



[그림 17] 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동량 변화의 혼합효과가 당뇨병 발생에 미치는 영향 연구 디자인 모식도

IV. 연구 결과

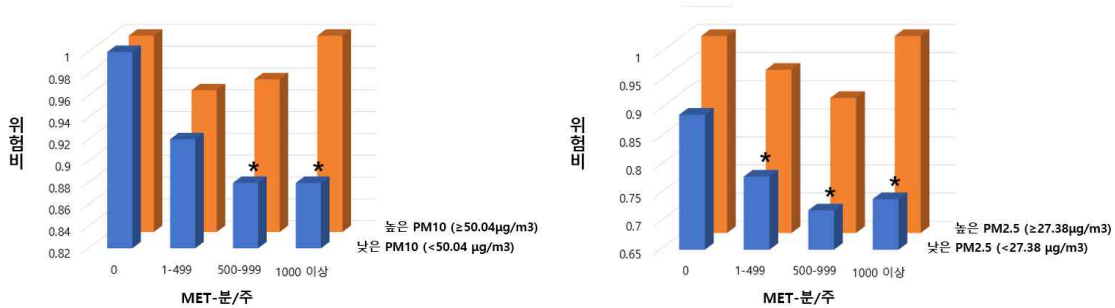
1. 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 심혈관질환 위험 평가

가. 20-30대 젊은 성인

20-30대 젊은 성인에서 PM10 노출의 낮음/중간과 높음의 기준값은 $50.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, PM2.5 노출의 낮음/중간과 높음의 기준값은 $27.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 아래 그림과 같이 콕스비례위험회귀모형을 활용한 분석 결과, 전체 연구대상자를 총 8개 군으로 나누고 (낮은/중간 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 0 MET-분/주, 1-499 MET-분/주, 500-999 MET-분/주 (국제적 운동 가이드라인 권장량), 1000 이상 MET-분/주의 운동을 한 4개 군과, 높은 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 0 MET-분/주, 1-499 MET-분/주, 500-999 MET-분/주, 1000 이상 MET-분/주의 운동을 한 4개 군을 합하여 총 8개 군), 높은 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 운동을 전혀 하지 않는 군(0 MET-분/주)을 대조군으로 두었을 때, PM10과 PM2.5 모두 낮은/중간 농도에 노출되었으면서 운동을 많이 한 경우 심혈관질환 발생 위험도가 유의하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다 (낮은/중간 농도의 PM10 노출 + 500-999 MET-분/주: HR 0.88, 95% CI 0.80-0.97, 1000 MET-분/주 이상: HR 0.88, 95% CI 0.79-0.98; 낮은/중간 농도의 PM2.5 노출 + 500-999 MET-분/주: HR 0.72, 95% CI 0.64-0.81, 1000 MET-분/주 이상: HR 0.74, 95% CI 0.65-0.85)²²⁾.

그러나 PM10과 PM2.5 모두 높은 농도에 노출된 경우에는 운동량에 따른 심혈관질환 발생 위험도가 J-모양 그래프 혹은 역-J 모양 그래프와 같은 형태를 띠며 나타났다. 즉, 국제적 운동 가이드라인 권장량인 500-999 MET-분/주 정도까지는 심혈관질환 발생 위험도를 낮추는 듯 하다가 (높은 농도의 PM10 노출 + 500-999 MET-분/주: HR 0.96, 95% CI 0.86-1.07, 높은 농도의 PM2.5 노출 + 500-999 MET-분/주: HR 0.89, 95% CI 0.78-1.02) 그 이상인 1000 MET-분/주 이상부터는 위험감소 효과가 사라지는 듯한 결과가 도출되었다 (높은 농도의 PM10 노출 + 1000 MET-분/주 이상: HR 1.00, 95% CI 0.88-1.14, 높은 농도의 PM2.5 노출 + 1000 MET-분/주 이상: HR 0.88, 95% CI 0.86-1.16). 그림에도 불구하고 해당 위험도는 모두 통계적으로 유의한 결과값은 아니었으므로, 높은 농도의 PM10 혹은 PM2.5에 노출되더라도 운동량이 많았을 때 적어도 심혈관질환의 위험도를 높이진 않음을 시사하였다.

22) 미세먼지와 운동의 혼합효과에 따른 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중 발생 위험도를 산출할 때 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수를 보정한 후 산출하였다.



[그림 18] 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 심혈관질환 발생 위험도

* P<0.05

이번엔 아래 표와 같이 PM10과 PM2.5의 노출 농도 수준에 따라 층화한 후, 각 층화한 집단 내에서 0 MET-분/주인 군²³⁾을 대조군으로 두고 콕스비례위험회귀모형을 활용하여 분석을 시행하였다. 위 joint category 분석과 비슷하게, PM10과 PM2.5 모두 낮은/중간 농도의 노출에서는 0 MET-분/주인 군에 비해 운동을 많이 할수록 심혈관질환, 관상동맥질환, 그리고 뇌졸중 발생 위험도가 유의하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 국제적 운동 가이드라인 권장량에 미치지 못하는 500 MET-분/주 이하의 운동을 하더라도 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중의 위험도가 모두 유의하게 낮아지는 것이 확인되었다. 물론 운동량이 높을수록 위험도 감소는 더 두드러지는 경향을 보였다. 아래 표에서 확인할 수 있듯이, 낮은/중간 농도의 PM10과 PM2.5 노출에서 운동을 1000 MET-분/주 이상씩 했을 때 각 질환별 발생 위험도는 다음과 같았다.

- 심혈관질환: PM10 aHR 0.85, 95% CI 0.78-0.93; PM2.5 aHR 0.83, 95% CI 0.74-0.94.
- 관상동맥질환: PM10 aHR 0.88, 95% CI 0.77-1.01; PM2.5 aHR 0.85, 95% CI 0.71-1.03.
- 뇌졸중: PM10 aHR 0.82, 95% CI 0.72-0.92; PM2.5 aHR 0.80, 95% CI 0.68-0.94.

그러나 PM10과 PM2.5 모두 높은 농도에 노출된 그룹 내에서는, 운동량에 따른 심혈관질환 발생 위험도가 앞선 joint category 분석 때와 마찬가지로 J-모양 그래프 혹은 역-J모양 그래프로 나타났다. 즉, 1-999 MET-분/주 사이에서는 심혈관질환 발생 위험도를 낮추는 듯 하다가, 그 이상인 1000 MET-분/주 이상부터는 위험감소 효과가 사라지는 듯한 결과로 나타났다. 그러나 아래 표에서 확인할 수 있듯이 해당 위험도들은 모두 통계적으로 유의

23) 운동을 전혀 하지 않는 그룹을 의미함.

한 결과값이 아니었기 때문에 경향성의 타당도에 대한 의미를 부여하기 어려웠다. 이를 다른 관점에서 보면 높은 농도의 PM10 혹은 PM2.5에 노출되더라도 운동량이 많았을 때 적어도 심혈관질환의 위험도를 유의하게 높이지 않았음을 시사한다고 볼 수도 있다.

결론적으로 PM10과 PM2.5가 낮은 노출 수준일 때는 운동을 많이 하는 것이 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중 발생에 있어 유의하게 예방 효과를 가진다는 결과가 도출되었고, PM10과 PM2.5가 높은 노출 수준일 경우에는 통계적으로 유의하진 않았으나 운동 가이드라인 권장량 수준 정도까지는 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중 발생에 있어 유리할 수 있다는 가능성을 발견하였다.

<표 3> 20-30대 젊은 성인에서 PM10 농도에 따라 층화하였을 때 운동량 (MET-분/주)에 따른 심혈관질환 발생 위험도

		운동량 (MET-분/주)				p for trend
		0	1-499	500-999	≥1000	
심혈관 질환	낮은/중간 농도의 PM10 ($<50.04\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	발생건수	1,031	2,121	1,822	876	
	인년(Person-year)	982,912	2,235,564	1,956,068	888,457	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.89 (0.82-0.95)	0.85 (0.79-0.92)	0.85 (0.78-0.93)	<0.001
	높은 농도의 PM10 ($\geq 50.04\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	발생건수	492	1,012	892	460	
인년(Person-year)	459,308	994,231	860,774	402,063		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.95 (0.86-1.06)	0.97 (0.86-1.07)	1.00 (0.88-1.14)	0.938	
관상 동맥 질환	낮은/중간 농도의 PM10 ($<50.04\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	발생건수	439	923	817	407	
	인년(Person-year)	982,912	2,235,564	1,956,068	888,457	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.89 (0.80-0.99)	0.88 (0.78-0.98)	0.88 (0.77-1.01)	0.08
	높은 농도의 PM10 ($\geq 50.04\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	발생건수	235	462	420	214	
인년(Person-year)	459,308	994,231	860,774	402,063		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.91 (0.77-1.06)	0.94 (0.80-1.10)	0.95 (0.79-1.14)	0.78	
뇌졸중	낮은/중간 농도의 PM10 ($<50.04\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	발생건수	607	1222	1032	478	
	인년(Person-year)	982,912	2,235,564	1,956,068	888,457	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.88 (0.79-0.97)	0.83 (0.75-0.92)	0.82 (0.72-0.92)	<0.001
	높은 농도의 PM10 ($\geq 50.04\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	발생건수	260	568	485	250	
인년(Person-year)	459,308	994,231	860,774	402,063		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	1.02 (0.88-1.18)	0.99 (0.86-1.16)	1.05 (0.87-1.26)	0.70	

※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)

보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

<표 4> 20-30대 젊은 성인에서 PM2.5 농도에 따라 층화하였을 때 운동량 (MET-분/주)에 따른 심혈관질환 발생 위험도

		운동량 (MET-분/주)				p for trend
		0	1-499	500-999	≥1000	
심혈관 질환	낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.38µg/m3)					
	발생건수	555	1274	1126	511	
	인년(Person-year)	567,431	1,462,892	1,370,271	571,744	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.88 (0.80-0.97)	0.81 (0.73-0.90)	0.83 (0.74-0.94)	<0.001
	높은 농도의 PM2.5 (≥27.38µg/m3)					
	발생건수	358	715	586	336	
인년(Person-year)	299,194	633,002	539,061	261,632		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.94 (0.83-1.06)	0.89 (0.78-1.01)	0.99 (0.86-1.16)	0.67	
관상 동맥 질환	낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.38µg/m3)					
	발생건수	240	546	526	238	
	인년(Person-year)	567,431	1,462,892	1,370,271	571,744	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.86 (0.74-1.00)	0.86 (0.74-1.00)	0.85 (0.71-1.03)	0.14
	높은 농도의 PM2.5 (≥27.38µg/m3)					
	발생건수	169	350	266	152	
인년(Person-year)	299,194	633,002	539,061	261,632		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.97 (0.81-1.17)	0.85 (0.70-1.04)	0.94 (0.75-1.17)	0.23	
뇌졸중	낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.38µg/m3)					
	발생건수 (%)	326	743	616	281	
	인년(Person-year)	567,431	1,462,892	1,370,271	571,744	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.88 (0.77-1.00)	0.77 (0.67-0.88)	0.80 (0.68-0.94)	<0.001
	높은 농도의 PM2.5 (≥27.38µg/m3)					
	발생건수	193	374	328	188	
인년(Person-year)	299,194	633,002	539,061	261,632		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.91 (0.76-1.08)	0.92 (0.77-1.10)	1.05 (0.86-1.29)	0.57	

※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)

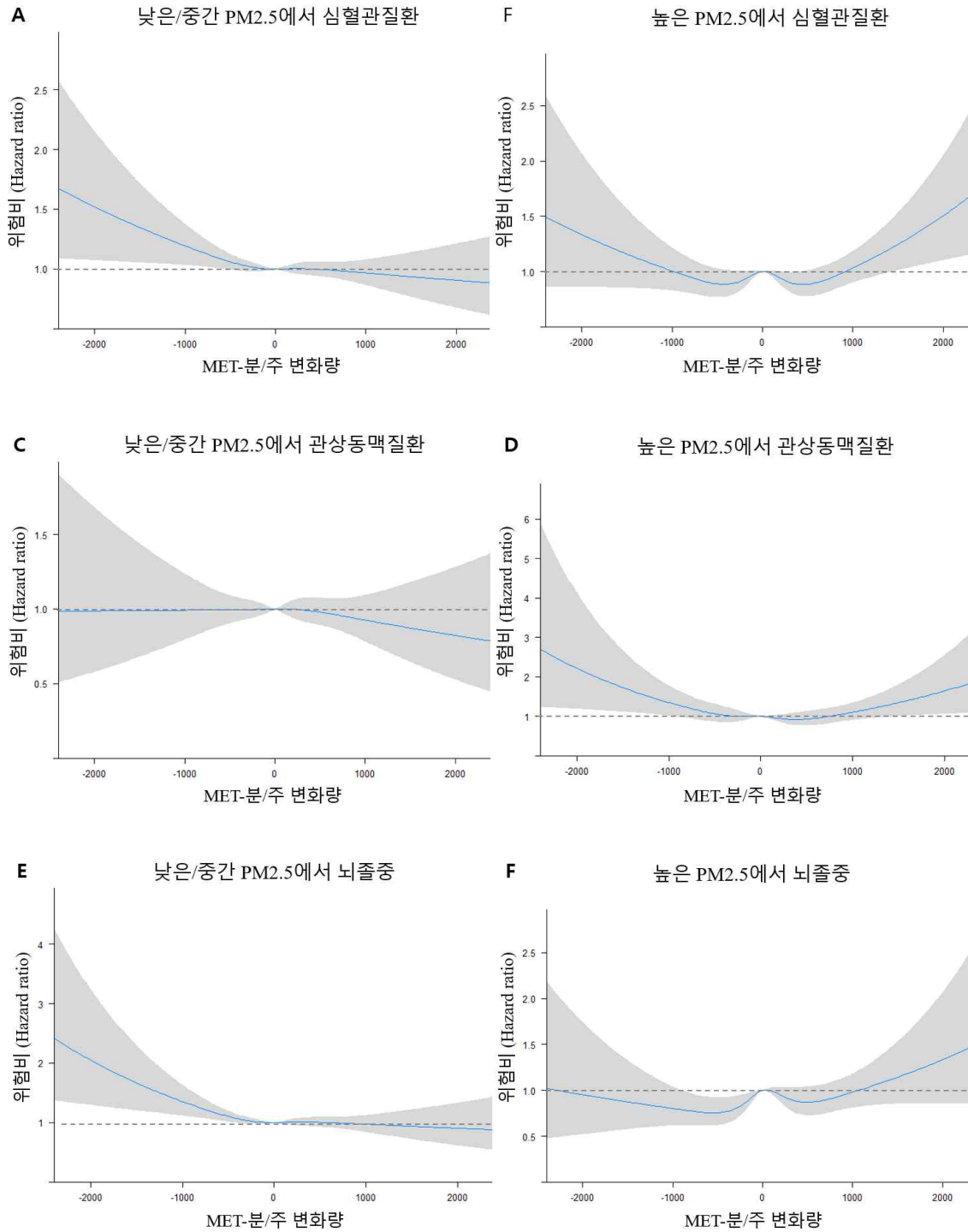
보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

다음으로 운동량 변화와 미세먼지의 혼합효과가 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중에 미치는 영향을 살펴보기 위해 콕스비례위험회귀분석을 기반으로 분석한 제한된 입방 스플라인 곡선 (restricted cubic spline curve)의 결과는 아래 그림과 같다. 아래 그림에서 볼 수 있듯이 X축은 MET-분/주, 즉 운동량의 변화량을 뜻하며 0을 기준으로 좌측의 경우 첫 번째 건강검진 때보다 두 번째 건강검진 때 운동량이 감소한 것을 의미하고 우측의 경우 운동량이 증가한 것을 의미한다. 이러한 운동량 변화에 따라 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중의 위험도가 어떻게 변화하는지 살펴보았다.

아래 스플라인 곡선에서 볼 수 있듯이 PM10과 PM2.5 모두 경향성 자체는 거의 유사하였다. PM2.5를 노출을 기준으로 살펴보면, 낮은/중간 농도의 PM2.5에 노출된 군에서는 운동량을 증가시켰을 때 심혈관계질환, 관상동맥질환, 뇌졸중 위험도 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 다만 이러한 경향은 95% 신뢰구간을 참고했을 때 통계적으로 유의하지는 않았으며, 운동량 증가에 따른 위험감소 효과의 경향성만 확인할 수 있었다. 반대로 이전에 비해 운동량이 감소했을 때는 심혈관계질환과 뇌졸중의 위험도가 증가하는 경향을 확인할 수 있었고, 이는 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다.

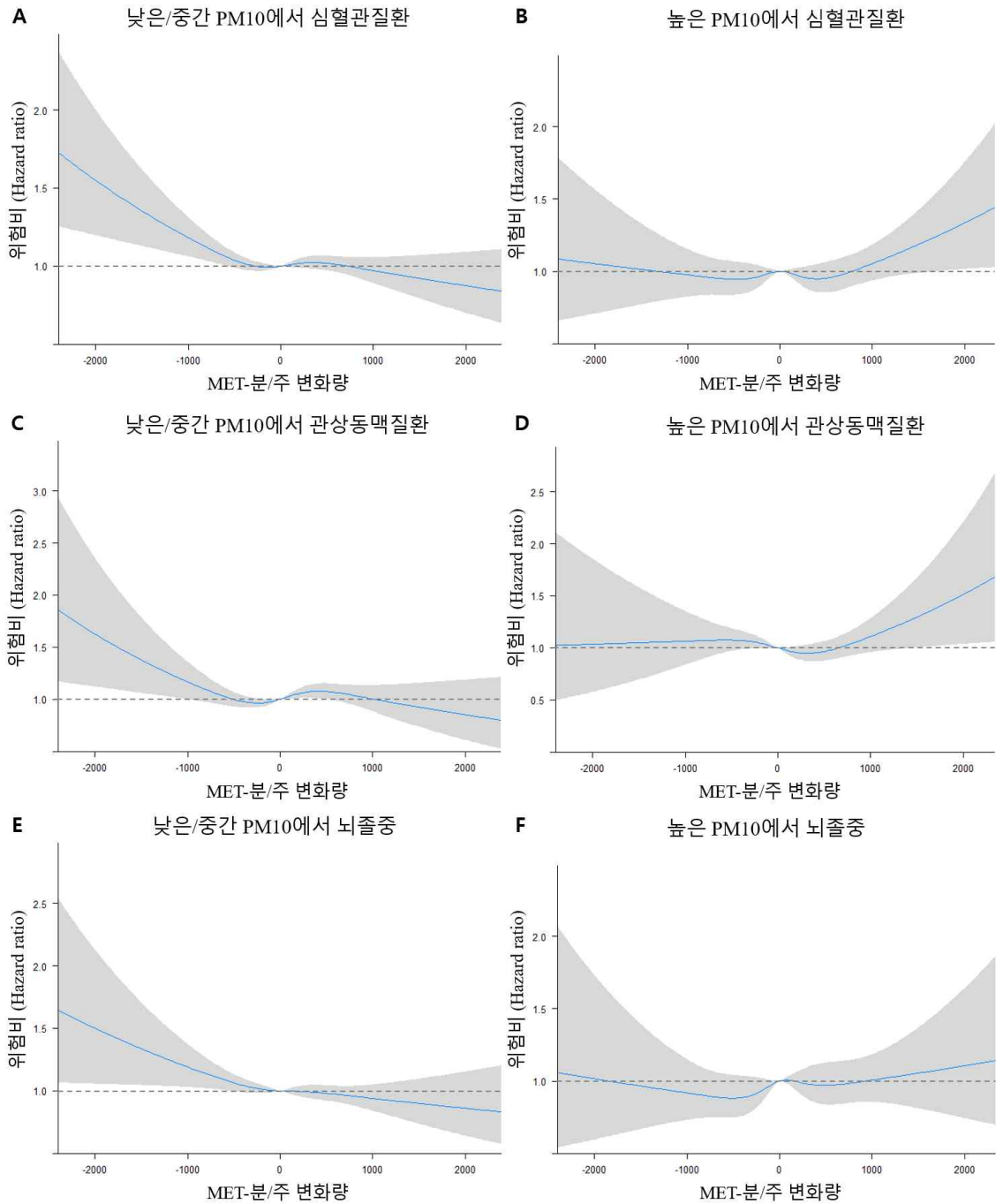
반면 높은 농도의 PM2.5에 노출된 군에서는 운동량을 증가시켰을 때 약 1000 MET-분/주 (국제적 운동 가이드라인 권장량)정도 까지는 운동량을 늘리는 것이 심혈관계질환, 관상동맥질환, 뇌졸중 위험도를 낮추는데 유리한 것으로 나타났지만, 그 이상으로 운동량을 늘렸을 때는 위험감소 효과가 약화되는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 높은 농도의 미세먼지에 노출되더라도 이전에 비해 운동량이 감소했을 때에는 여전히 심혈관질환, 관상동맥질환의 위험도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 경향성은 PM10 노출을 기준으로 보았을 때도 낮은/중간 농도의 노출과 높은 농도의 노출에서 모두 PM2.5와 경향성이 거의 유사하였다.



[그림 19] 20-30대 젊은 성인에서 농도별 PM2.5 노출시 운동량(MET-분/주) 변화에 따른 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중 위험비

※ 그래프의 실선의 경우 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio)를 나타내며, 회색으로 음영처리된 부분은 95% 신뢰구간 (confidence intervals)을 의미한다. 그리고 이러한 보정된 위험도와 95% 신뢰구간은 콕스비례위험회귀 분석을 활용하여 산출하였다. 본 모델에는 기저 운동량 (첫 번째 건강검진 때의 운동량), 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수를 보정하였다.



[그림 20] 20-30대 젊은 성인에서 농도별 PM10 노출시 운동량(MET-분/주) 변화에 따른 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중 위험비

※ 그래프의 실선의 경우 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio)를 나타내며, 회색으로 음영처리된 부분은 95% 신뢰구간 (confidence intervals)을 의미한다. 그리고 이러한 보정된 위험도와 95% 신뢰구간은 콕스비례위험회귀 분석을 활용하여 산출하였다. 본 모델에는 기저 운동량 (첫 번째 건강검진 때의 운동량), 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수를 보정하였다.

아래 표들은 PM10과 PM2.5 각각의 노출 농도 수준에 따라 층화한 후, 층화한 집단 내에서 운동량 수준에 따라 그룹을 나눈 후 운동량의 변화에 따라 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중 발생 위험도가 어떻게 나타나는지 콕스비례위험회귀모형을 활용하여 분석한 결과이다. 모든 분석에서 운동량 수준이 변하지 않은 군을 대조군으로 설정하였다. 위에서 살펴본 스플라인 곡선 그래프에서와 마찬가지로, 낮은/중간 농도의 PM2.5 혹은 PM10에 노출되었을 때는 운동을 전혀 하지 않던 대상자군 (0 MET-분/주)이 운동량을 늘릴수록 심혈관질환 (낮은 농도의 PM2.5에 노출되고 운동량을 1000 MET-분/주 이상으로 늘렸을 때 HR 0.73, 95% CI 0.53-1.02), 관상동맥질환 (낮은 농도의 PM2.5에 노출되고 운동량을 1000 MET-분/주 이상으로 늘렸을 때 HR 0.56, 95% CI 0.32-0.98), 뇌졸중 (낮은 농도의 PM2.5에 노출되고 운동량을 1000 MET-분/주 이상으로 늘렸을 때 HR 0.84, 95% CI 0.56-1.27) 발생 위험도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 반면 운동을 많이 하던 대상자 군 (500-999 MET-분/주 [운동 가이드라인 권장량] 혹은 1000 MET-분/주 이상)이 운동량을 줄일수록 심혈관질환 (낮은 농도의 PM2.5에 노출되고 500-999 MET-분/주에서 운동량을 0 MET-분/주로 줄였을 때 HR 1.21, 95% CI 0.98-1.48), 관상동맥질환 (낮은 농도의 PM2.5에 노출되고 500-999 MET-분/주에서 운동량을 0 MET-분/주로 줄였을 때 HR 1.18, 95% CI 0.93-1.49), 뇌졸중 (낮은 농도의 PM2.5에 노출되고 500-999 MET-분/주에서 운동량을 0 MET-분/주로 줄였을 때 HR 1.39, 95% CI 1.07-1.81) 발생 위험도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

높은 농도의 PM2.5에 노출되었을 때는 운동을 전혀 하지 않던 대상자 군이 운동량을 늘렸을 때, 1000 MET-분/주 정도까지는 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중 위험도를 낮추는 듯 하다가, 그 이상으로 운동량이 늘어난 경우 위험감소 효과가 약화되는 것을 확인할 수 있었다 (역-J 모양 연관성). 그러나 해당 위험도 수치들은 모두 통계적으로 유의하진 않았다. 한 편, 1000 MET-분/주 이상으로 운동을 많이 하던 대상자 군이 운동량을 0 MET-분/주로 전혀 하지 않을 때까지 줄였을 때에는, 높은 농도의 PM2.5에 노출되더라도 심혈관질환 (HR 1.45, 95% CI 0.98-2.15), 관상동맥질환 (HR 1.60, 95% CI 0.88-2.88), 뇌졸중 (HR 1.37, 95% CI 0.82-2.30)의 위험도가 증가하는 경향성을 확인할 수 있었다. 다만 이러한 수치들도 통계적으로 유의하진 않았다. 높은 농도의 PM10에 노출되었을 때의 경향성 역시 앞서 언급한 높은 농도의 PM2.5에 노출되었을 때와 유사하였다.

자세한 결과값은 아래 표들을 통해 제시하였다.

〈표 5〉 20-30대 젊은 성인에서 PM10 농도에 따라 층화하였을 때 운동량 (MET-분/주) 변화에 따른 심혈관질환 발생 위험도

		두 번째 건강검진 시 운동량 (MET-분/주)				p for trend
		0	1-499	500-999	≥1000	
나뭇잎은/ 농도의 PM10 (<50.04 µg/m3)	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	360	436	211	90	
	인년(Person-year)	344,907	423,731	231,016	84,402	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.98 (0.85-1.13)	0.84 (0.71-1.00)	0.93 (0.74-1.17)	0.11
	기존 운동량 1-499 MET-분/주					
	발생건수	383	1008	583	166	
	인년(Person-year)	373,494	1,071,301	638,064	183,791	
	aHR (95% CI)	1.13 (1.00-1.27)	1.00 (reference)	0.97 (0.88-1.08)	0.93 (0.79-1.09)	0.02
	기존 운동량 500-999 MET-분/주					
	발생건수	207	509	748	331	
	인년(Person-year)	199,114	589,305	806,941	321,773	
	aHR (95% CI)	1.17 (1.00-1.36)	0.95 (0.85-1.06)	1.00 (reference)	1.07 (0.94-1.22)	0.98
	기존 운동량 ≥1000 MET-분/주					
	발생건수	81	168	280	289	
	인년(Person-year)	65,395	151,224	280,046	298,490	
	aHR (95% CI)	1.38 (1.08-1.78)	1.22 (1.01-1.48)	1.09 (0.93-1.29)	1.00 (reference)	0.004
뽕나무 농도의 PM10 (≥50.04 µg/m3)	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	196	201	118	56	
	인년(Person-year)	163,324	188,944	100,750	38,242	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.89 (0.73-1.09)	0.97 (0.77-1.22)	1.16 (0.86-1.57)	0.54
	기존 운동량 1-499 MET-분/주					
	발생건수	178	493	286	96	
	인년(Person-year)	172,085	475,240	278,006	83,639	
	aHR (95% CI)	0.99 (0.83-1.17)	1.00 (reference)	1.00 (0.87-1.16)	1.05 (0.85-1.31)	0.66
	기존 운동량 500-999 MET-분/주					
	발생건수	87	252	358	166	
	인년(Person-year)	92,530	261,988	356,282	143,393	
	aHR (95% CI)	0.96 (0.76-1.21)	0.98 (0.84-1.15)	1.00 (reference)	1.13 (0.94-1.36)	0.17
	기존 운동량 ≥1000 MET-분/주					
	발생건수	31	66	130	142	
	인년(Person-year)	31,368	68,058	125,735	136,786	
	aHR (95% CI)	1.01 (0.69-1.50)	0.99 (0.74-1.33)	1.05 (0.83-1.34)	1.00 (reference)	0.98

※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)
보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

<표 6> 20-30대 젊은 성인에서 PM2.5 농도에 따라 층화하였을 때 운동량 (MET-분/주) 변화에 따른 심혈관질환 발생 위험도

		두 번째 건강검진 시 운동량 (MET-분/주)				p for trend
		0	1-499	500-999	≥1000	
낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.38 µg/m3)	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	191	242	144	43	
	인년(Person-year)	182,314	261,436	153,766	50,671	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.90 (0.74-1.09)	0.87 (0.70-1.09)	0.73 (0.53-1.02)	0.06
	기존 운동량 1-499 MET-분/주					
	발생건수	212	599	356	107	
	인년(Person-year)	222,732	704,909	441,987	114,763	
	aHR (95% CI)	1.14 (0.98-1.34)	1.00 (reference)	0.95 (0.83-1.08)	1.05 (0.85-1.29)	0.18
	기존 운동량 500-999 MET-분/주					
	발생건수	115	340	470	184	
	인년(Person-year)	124,417	404,258	587,459	215,942	
	aHR (95% CI)	1.21 (0.98-1.48)	1.07 (0.93-1.23)	1.00 (reference)	1.04 (0.88-1.24)	0.17
기존 운동량 ≥1000 MET-분/주						
발생건수	37	93	156	177		
인년(Person-year)	37,967	92,288	187,058	190,366		
aHR (95% CI)	1.13 (0.79-1.62)	1.14 (0.88-1.46)	0.96 (0.77-1.19)	1.00 (reference)	0.31	
높은 농도의 PM10 (≥27.38 µg/m3)	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	136	156	69	46	
	인년(Person-year)	108,613	123,690	63,237	24,672	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.98 (0.78-1.23)	0.83 (0.62-1.11)	1.38 (0.98-1.93)	0.55
	기존 운동량 1-499 MET-분/주					
	발생건수	130	350	197	65	
	인년(Person-year)	109,717	298,713	175,164	54,030	
	aHR (95% CI)	1.01 (0.82-1.24)	1.00 (reference)	0.97 (0.81-1.15)	1.01 (0.78-1.32)	0.84
기존 운동량 500-999 MET-분/주						
발생건수	59	165	229	121		
인년(Person-year)	59,950	165,388	220,255	93,814		
aHR (95% CI)	0.95 (0.71-1.26)	0.98 (0.80-1.19)	1.00 (reference)	1.19 (0.96-1.49)	0.11	

기존 운동량 ≥1000 MET-분/주					
발생건수	33	44	91	104	
인년(Person-year)	20,912	45,209	80,404	89,114	
aHR (95% CI)	1.45 (0.98-2.15)	0.90 (0.63-1.28)	1.02 (0.77-1.35)	1.00 (reference)	0.33

※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)

보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

<표 7> 20-30대 젊은 성인에서 PM10 농도에 따라 층화하였을 때 운동량 (MET-분/주) 변화에 따른 관상동맥질환 발생 위험도

		두 번째 건강검진 시 운동량 (MET-분/주)				p for trend
		0	1-499	500-999	≥1000	
낮은/중간 농도의 PM10 (<50.04 µg/m ³)	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	161	188	93	92	
	인년(Person-year)	344,907	423,731	231,016	84,402	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.94 (0.76-1.16)	0.81 (0.63-1.05)	0.71 (0.49-1.04)	0.03
	기존 운동량 1-499 MET-분/주					
	발생건수	152	442	265	85	
	인년(Person-year)	373,494	1,071,301	638,064	183,791	
	aHR (95% CI)	1.04 (0.86-1.25)	1.00 (reference)	1.01 (0.87-1.18)	1.08 (0.86-1.36)	0.80
	기존 운동량 500-999 MET-분/주					
	발생건수	91	216	327	150	
	인년(Person-year)	199,114	589,305	806,941	321,773	
	aHR (95% CI)	1.18 (0.93-1.49)	0.92 (0.78-1.10)	1.00 (reference)	1.09 (0.90-1.32)	0.81
기존 운동량 ≥1000 MET-분/주						
발생건수	35	77	132	140		
인년(Person-year)	65,395	151,224	280,046	298,490		
aHR (95% CI)	1.30 (0.89-1.88)	1.19 (0.90-1.57)	1.08 (0.85-1.38)	1.00 (reference)	0.10	
높은 농도의 PM10 (≥50.04 µg/m ³)	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	94	85	54	28	
	인년(Person-year)	163,324	188,944	100,750	38,242	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.80 (0.60-1.08)	0.94 (0.67-1.32)	1.21 (0.79-1.85)	0.62
	기존 운동량 1-499 MET-분/주					
	발생건수	97	231	122	50	
인년(Person-year)	172,085	475,240	278,006	83,639		
aHR (95% CI)	1.15 (0.91-1.46)	1.00 (reference)	0.92 (0.74-1.14)	1.14 (0.83-1.55)	0.46	

기존 운동량 500-999 MET-분/주					
발생건수	30	115	173	76	
인년(Person-year)	92,530	261,988	356,282	143,393	
aHR (95% CI)	0.69 (0.47-1.02)	0.92 (0.73-1.17)	1.00 (reference)	1.07 (0.82-1.40)	0.06
기존 운동량 ≥1000 MET-분/주					
발생건수	14	31	71	60	
인년(Person-year)	31,368	68,058	125,735	136,786	
aHR (95% CI)	1.14 (0.64-2.05)	1.12 (0.73-1.73)	1.37 (0.97-1.93)	1.00 (reference)	0.52

※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)

보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

<표 8> 20-30대 젊은 성인에서 PM2.5 농도에 따라 층화하였을 때 운동량 (MET-분/주) 변화에 따른 관상동맥질환 발생 위험도

	두 번째 건강검진 시 운동량 (MET-분/주)				p for trend	
	0	1-499	500-999	≥1000		
낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.38 µg/m ³)	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	82	96	62	14	
	인년(Person-year)	182,314	261,436	153,766	50,671	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.84 (0.73-1.14)	0.88 (0.63-1.23)	0.56 (0.32-0.98)	0.08
	기존 운동량 1-499 MET-분/주					
	발생건수	99	276	166	55	
	인년(Person-year)	222,732	704,909	441,987	114,763	
	aHR (95% CI)	1.19 (0.94-1.50)	1.00 (reference)	0.96 (0.79-1.16)	1.14 (0.85-1.53)	0.49
	기존 운동량 500-999 MET-분/주					
	발생건수	44	134	222	81	
	인년(Person-year)	124,417	404,258	587,459	215,942	
	aHR (95% CI)	0.97 (0.70-1.35)	0.90 (0.73-1.11)	1.00 (reference)	0.96 (0.75-1.24)	0.64
	기존 운동량 ≥1000 MET-분/주					
	발생건수	15	40	76	88	
	인년(Person-year)	37,967	92,288	187,058	190,366	
	aHR (95% CI)	0.96 (0.56-1.67)	1.02 (0.70-1.48)	0.96 (0.70-1.30)	1.00 (reference)	0.96
높은 농도의 PM10 (≥27.38 µg/m ³)	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	67	78	37	22	
	인년(Person-year)	108,613	123,690	63,237	24,672	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	1.00 (0.72-1.39)	0.90 (0.60-1.35)	1.34 (0.83-2.18)	0.59

기존 운동량 1-499 MET-분/주					
발생건수	60	164	82	34	
인년(Person-year)	109,717	298,713	175,164	54,030	
aHR (95% CI)	0.99 (0.73-1.33)	1.00 (reference)	0.86 (0.66-1.23)	1.13 (0.78-1.64)	0.93
기존 운동량 500-999 MET-분/주					
발생건수	27	88	102	52	
인년(Person-year)	59,950	165,388	220,255	93,814	
aHR (95% CI)	0.98 (0.64-1.50)	1.16 (0.87-1.55)	1.00 (reference)	1.15 (0.82-1.60)	0.90
기존 운동량 ≥1000 MET-분/주					
발생건수	15	20	45	44	
인년(Person-year)	20,912	45,209	80,404	89,114	
aHR (95% CI)	1.60 (0.88-2.88)	0.98 (0.58-1.67)	1.21 (0.80-1.83)	1.00 (reference)	0.29

※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)

보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

<표 9> 20-30대 젊은 성인에서 PM10 농도에 따라 층화하였을 때 운동량 (MET-분/주) 변화에 따른 뇌졸중 발생 위험도

	두 번째 건강검진 시 운동량 (MET-분/주)				p for trend	
	0	1-499	500-999	≥1000		
낮은/중간 농도의 PM10 (<50.04 µg/m ³)	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	205	254	121	58	
	인년(Person-year)	344,907	423,731	231,016	84,402	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	1.01 (0.84-1.21)	0.86 (0.69-1.08)	1.08 (0.81-1.45)	0.69
	기존 운동량 1-499 MET-분/주					
	발생건수	238	579	326	83	
	인년(Person-year)	373,494	1,071,301	638,064	183,791	
	aHR (95% CI)	1.21 (1.04-1.40)	1.00 (reference)	0.95 (0.83-1.08)	0.81 (0.64-1.02)	<0.001
	기존 운동량 500-999 MET-분/주					
	발생건수	117	297	433	184	
	인년(Person-year)	199,114	589,305	806,941	321,773	
	aHR (95% CI)	1.13 (0.92-1.39)	0.95 (0.82-1.10)	1.00 (reference)	1.04 (0.88-1.24)	0.93
	기존 운동량 ≥1000 MET-분/주					
	발생건수	47	92	152	153	
	인년(Person-year)	65,395	151,224	280,046	298,490	
	aHR (95% CI)	1.47 (1.06-2.04)	1.24 (0.95-1.60)	1.11 (0.89-1.39)	1.00 (reference)	0.01

높은 농도의 PM10 (≥50.04 µg/m3)	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	104	120	66	28	
	인년(Person-year)	163,324	188,944	100,750	38,242	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.99 (0.76-1.29)	1.02 (0.75-1.39)	1.11 (0.73-1.68)	0.70
	기존 운동량 1-499 MET-분/주					
	발생건수	81	271	167	46	
	인년(Person-year)	172,085	475,240	278,006	83,639	
	aHR (95% CI)	0.82 (0.64-1.05)	1.00 (reference)	1.07 (0.88-1.29)	0.94 (0.68-1.28)	0.21
	기존 운동량 500-999 MET-분/주					
	발생건수	58	142	191	92	
	인년(Person-year)	92,530	261,988	356,282	143,393	
	aHR (95% CI)	1.18 (0.88-1.58)	1.04 (0.83-1.29)	1.00 (reference)	1.17 (0.91-1.50)	0.99
	기존 운동량 ≥1000 MET-분/주					
	발생건수	17	35	61	84	
	인년(Person-year)	31,368	68,058	125,735	136,786	
	aHR (95% CI)	0.90 (0.54-1.53)	0.88 (0.59-1.30)	0.83 (0.59-1.15)	1.00 (reference)	0.50

※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)

보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

<표 10> 20-30대 젊은 성인에서 PM2.5 농도에 따라 층화하였을 때 운동량 (MET-분/주) 변화에 따른 뇌졸중 발생 위험도

	두 번째 건강검진 시 운동량 (MET-분/주)				p for trend	
	0	1-499	500-999	≥1000		
낮은/ 중간도의 PM2.5 (<27.38 µg/m3)	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	114	149	83	29	
	인년(Person-year)	182,314	261,436	153,766	50,671	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.92 (0.72-1.18)	0.85 (0.64-1.13)	0.84 (0.56-1.27)	0.23
	기존 운동량 1-499 MET-분/주					
	발생건수	118	333	195	54	
	인년(Person-year)	222,732	704,909	441,987	114,763	
	aHR (95% CI)	1.12 (0.91-1.39)	1.00 (reference)	0.93 (0.78-1.12)	0.96 (0.72-1.28)	0.16
	기존 운동량 500-999 MET-분/주					
	발생건수	72	208	256	105	
	인년(Person-year)	124,417	404,258	587,459	215,942	
	aHR (95% CI)	1.39 (1.07-1.81)	1.20 (1.00-1.45)	1.00 (reference)	1.10 (0.88-1.39)	0.04

높은 농도의 PM10 (≥27.38 μg/m3)	기존 운동량 ≥1000 MET-분/주					
	발생건수	22	53	82	93	
	인년(Person-year)	37,967	92,288	187,058	190,366	
	aHR (95% CI)	1.26 (0.79-2.01)	1.20 (0.86-1.69)	0.95 (0.71-1.28)	1.00 (reference)	0.21
	기존 운동량 0 MET-분/주					
	발생건수	71	83	34	24	
	인년(Person-year)	108,613	123,690	63,237	24,672	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.98 (0.71-1.35)	0.77 (0.51-1.16)	1.38 (0.87-2.19)	0.80
	기존 운동량 1-499 MET-분/주					
	발생건수	70	190	118	31	
	인년(Person-year)	109,717	298,713	175,164	54,030	
	aHR (95% CI)	1.00 (0.76-1.32)	1.00 (reference)	1.07 (0.85-1.34)	0.90 (0.61-1.31)	0.94
	기존 운동량 500-999 MET-분/주					
	발생건수	33	77	129	71	
	인년(Person-year)	59,950	165,388	220,255	93,814	
	aHR (95% CI)	0.93 (0.64-1.37)	0.81 (0.61-1.08)	1.00 (reference)	1.25 (0.94-1.68)	0.04
기존 운동량 ≥1000 MET-분/주						
발생건수	19	24	47	62		
인년(Person-year)	20,912	45,209	80,404	89,114		
aHR (95% CI)	1.37 (0.82-2.30)	0.81 (0.50-1.29)	0.87 (0.60-1.28)	1.00 (reference)	0.72	

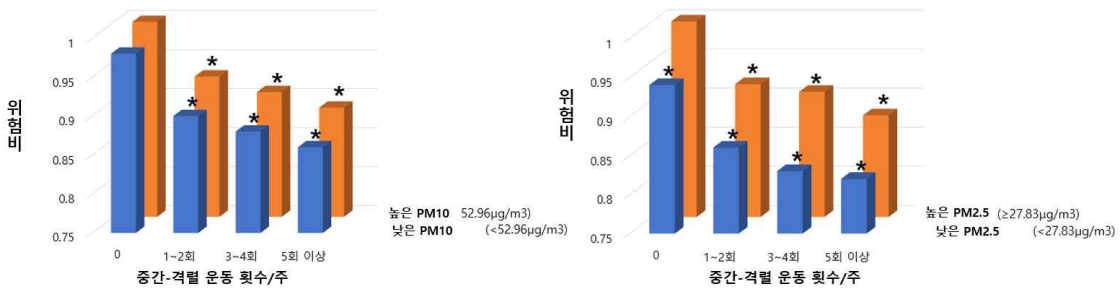
※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)

보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

나. 58세 이상 고령 인구

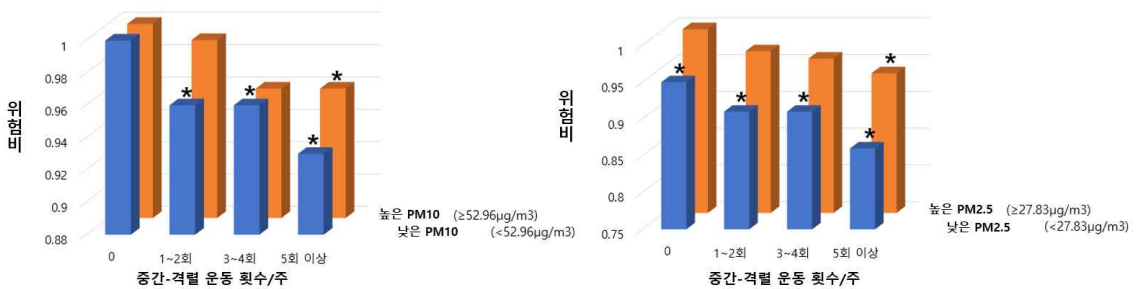
58세 이상 고령 인구에서 PM10 노출의 낮음/중간과 높음의 기준값은 52.96 μg/m3 이었으며, PM2.5 노출의 낮음/중간과 높음의 기준값은 27.83 μg/m3 이었다. 아래 그림과 같이 콕스비례위험회귀모형을 활용한 분석 결과, 전체 연구대상자를 총 8개 군으로 나누고 (낮은/중간 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 중간-격렬 운동을 각각 0회/주, 1~2회/주, 3~4회/주, 5회 이상/주 하는 4개 군과, 높은 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 중간-격렬 운동을 각각 0회/주, 1~2회/주, 3~4회/주, 5회 이상/주 하는 4개 군을 합하여 총 8개 군), 높은 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 운동을 전혀 하지 않는 군을 대조군으로 두었을 때, PM10이든 PM2.5든 미세먼지 농도에 관계 없이 운동을 많이 할수록 심혈관질환 (낮은/중간 노출 농도의 PM10 + 중간-격렬 운동 5회 이상: HR 0.86, 95% CI 0.84-0.88; 높은 노출 농도의 PM10 + 운동 5회 이상: HR 0.89, 95% CI 0.87-0.91; 낮은/중간 노출 농도의 PM2.5 + 운동 5회 이상: HR 0.82, 95% CI 0.80-0.84; 높은 노출 농도의 PM2.5 +

운동 5회 이상: HR 0.88, 95% CI 0.85-0.90), 관상동맥질환 (낮은/중간 노출 농도의 PM10 + 중간-격렬 운동 5회 이상: HR 0.93, 95% CI 0.90-0.95; 높은 노출 농도의 PM10 + 운동 5회 이상: HR 0.96, 95% CI 0.92-1.00; 낮은/중간 노출 농도의 PM2.5 + 운동 5회 이상: HR 0.86, 95% CI 0.83-0.90; 높은 노출 농도의 PM2.5 + 운동 5회 이상: HR 0.94, 95% CI 0.90-0.99), 그리고 뇌졸중 (낮은/중간 노출 농도의 PM10 + 중간-격렬 운동 5회 이상: HR 0.81, 95% CI 0.79-0.84; 높은 노출 농도의 PM10 + 운동 5회 이상: HR 0.84, 95% CI 0.81-0.87; 낮은/중간 노출 농도의 PM2.5 + 운동 5회 이상: HR 0.86, 95% CI 0.83-0.90; 높은 노출 농도의 PM2.5 + 운동 5회 이상: HR 0.94, 95% CI 0.90-0.99) 발생 위험도를 유의하게 감소시키는 것으로 확인되었다²⁴⁾.



[그림 21] 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 심혈관질환 발생 위험도

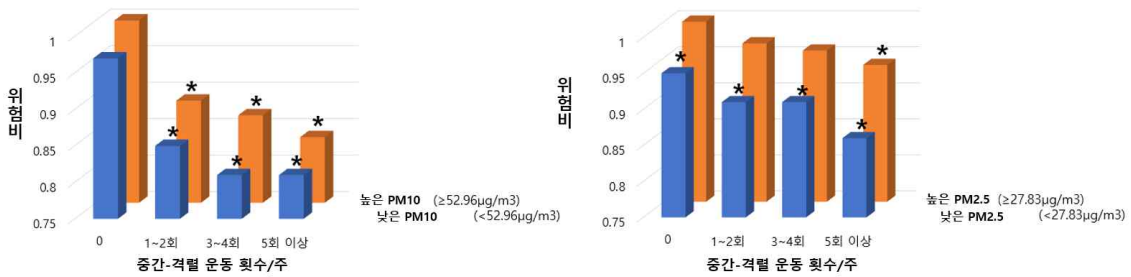
* P<0.05



[그림 22] 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 관상동맥질환 발생 위험도

* P<0.05

24) 미세먼지와 운동의 혼합효과에 따른 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중 발생 위험도를 산출할 때 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 혈당, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수를 보정한 후 산출하였다.



[그림 23] 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 뇌졸중 발생 위험도

* P<0.05

아래 표와 같이 미세먼지 PM10과 PM2.5 각각의 노출 농도 수준에 따라 층화한 후, 각 층화한 그룹 내에서 운동을 전혀 하지 않는 군을 대조군으로 두고 콕스비례위험회귀모형을 활용한 분석 결과, 이번에도 역시 PM10이든 PM2.5든 미세먼지 노출 농도에 관계없이 운동을 많이 할수록 심혈관질환, 관상동맥질환, 그리고 뇌졸중의 발생 위험도를 유의하게 감소시키는 것으로 확인되었다. 특히, 주마다 5회 이상씩 운동을 하지 않고 1~2회/주 혹은 3~4회/주 정도의 비교적 적은 양의 운동을 하더라도, 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중의 위험도가 모두 유의하게 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 물론 그래도 운동을 주 5회 이상, 즉 국제적 운동 가이드라인 권장량만큼 할 경우에 질병 발생 위험도가 가장 감소하는 것으로 나타났다. 표에서 확인할 수 있듯이 질환별 발생 위험도는 다음과 같았다.

- 심혈관질환: 낮은/중간 노출 농도의 PM10 aHR 0.87, 95% CI 0.86-0.89; 높은 노출 농도의 PM10 aHR 0.89, 95% CI 0.86-0.91; 낮은/중간 노출 농도의 PM2.5 aHR 0.88, 95% CI 0.86-0.90; 높은 노출 농도의 PM2.5 aHR 0.88, 95% CI 0.85-0.90
- 관상동맥질환: 낮은/중간 노출 농도의 PM10 aHR 0.93, 95% CI 0.90-0.95; 높은 노출 농도의 PM10 aHR 0.96, 95% CI 0.92-0.99; 낮은/중간 노출 농도의 PM2.5 aHR 0.91, 95% CI 0.88-0.94; 높은 노출 농도의 PM2.5 aHR 0.95, 95% CI 0.91-0.99
- 뇌졸중: 낮은/중간 노출 농도의 PM10 aHR 0.84, 95% CI 0.82-0.86; 높은 노출 농도의 PM10 aHR 0.83, 95% CI 0.80-0.87; 낮은/중간 노출 농도의 PM2.5 aHR 0.85, 95% CI 0.83-0.88; 높은 노출 농도의 PM2.5 aHR 0.82, 95% CI 0.70-0.85

즉, 이는 미세먼지 노출 수준에 관계없이 많은 운동을 하는 것이 심혈관질환, 관상동맥질환, 뇌졸중 발생에 있어 예방 효과를 가진다는 것을 시사하였다.

<표 11> 58세 이상 고령 인구에서 PM10 농도에 따라 층화하였을 때 중간-격렬 운동에 따른 심혈관질환 발생 위험도

		중간-격렬 운동 횟수 (주)				p for trend
		0 회	1-2 회	3-4 회	≥5 회	
심혈관 질환	낮은/중간 농도의 PM10 (<52.96µg/m3)					
	발생건수 (%)	42,307 (3.67)	9,340 (0.81)	8,501 (0.74)	17,439 (1.51)	
	인년(Person-year)	3,404,270	872,334	817,218	1,619,206	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.91 (0.89-0.93)	0.89 (0.87-0.91)	0.87 (0.86-0.89)	<0.001
	높은 농도의 PM10 (≥52.96µg/m3)					
	발생건수 (%)	19,945 (3.82)	4,033 (0.77)	3,753 (0.72)	7,992 (1.53)	
인년(Person-year)	1,595,772	371,428	350,525	727,998		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.93 (0.90-0.96)	0.91 (0.88-0.94)	0.89 (0.86-0.91)	0.017	
관상 동맥 질환	낮은/중간 농도의 PM10 (<52.96µg/m3)					
	발생건수 (%)	18,502 (1.61)	4,505 (0.39)	4,223 (0.37)	8,460 (0.73)	
	인년(Person-year)	3,404,270	872,334	817,218	1,619,206	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.95 (0.92-0.99)	0.95 (0.92-0.99)	0.93 (0.90-0.95)	<0.001
	높은 농도의 PM10 (≥52.96µg/m3)					
	발생건수 (%)	8,606 (1.65)	1,963 (0.38)	1,820 (0.35)	3,887 (0.74)	
인년(Person-year)	1,595,772	371,428	350,525	727,998		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.99 (0.94-1.04)	0.96 (0.92-1.01)	0.96 (0.92-0.99)	0.006	
뇌졸중	낮은/중간 농도의 PM10 (<52.96µg/m3)					
	발생건수 (%)	23,805 (2.07)	4,835 (0.42)	4,278 (0.37)	8,979 (0.78)	
	인년(Person-year)	3,404,270	872,334	817,218	1,619,206	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.88 (0.85-0.91)	0.84 (0.81-0.87)	0.84 (0.82-0.86)	<0.001
	높은 농도의 PM10 (≥52.96µg/m3)					
	발생건수 (%)	11,339 (2.17)	2,070 (0.4)	1,933 (0.37)	4,105 (0.79)	
인년(Person-year)	1,595,772	371,428	350,525	727,998		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.87 (0.83-0.92)	0.86 (0.82-0.91)	0.83 (0.80-0.87)	0.006	

※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)

보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

<표 12> 58세 이상 고령 인구에서 PM2.5 농도에 따라 층화하였을 때 중간-격렬 운동에 따른 심혈관질환 발생 위험도

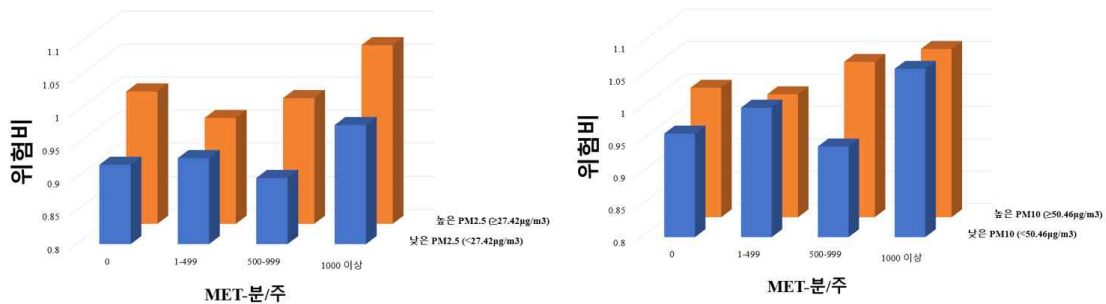
		중간-격렬 운동 횟수 (주)				p for trend
		0 회	1-2 회	3-4 회	≥5 회	
심혈관 질환	낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.83µg/m3)					
	발생건수 (%)	26,257 (3.38)	6,139 (0.79)	5,560 (0.71)	11,331 (1.46)	
	인년(Person-year)	2,256,205	605,583	567,880	1,113,416	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.92 (0.89-0.95)	0.89 (0.87-0.92)	0.88 (0.86-0.90)	<0.001
심혈관 질환	높은 농도의 PM2.5 (≥27.83µg/m3)					
	발생건수 (%)	14,016 (3.85)	2,814 (0.77)	2,660 (0.73)	5,510 (1.51)	
	인년(Person-year)	1,115,540	259,393	245,612	503,807	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.92 (0.88-0.96)	0.91 (0.87-0.95)	0.88 (0.85-0.90)	0.017
관상 동맥 질환	낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.83µg/m3)					
	발생건수 (%)	11,929 (1.53)	3,066 (0.39)	2,864 (0.37)	5,573 (0.72)	
	인년(Person-year)	2,256,205	605,583	567,880	1,113,416	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.96 (0.92-1.00)	0.96 (0.92-1.00)	0.91 (0.88-0.94)	<0.001
관상 동맥 질환	높은 농도의 PM2.5 (≥27.83µg/m3)					
	발생건수 (%)	6,280 (1.72)	1,394 (0.38)	1,335 (0.37)	2,778 (0.76)	
	인년(Person-year)	1,115,540	259,393	245,612	503,807	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.97 (0.91-1.03)	0.97 (0.91-1.03)	0.95 (0.91-0.99)	0.006
뇌졸중	낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.83µg/m3)					
	발생건수 (%)	14,328 (1.84)	3,073 (0.4)	2,696 (0.35)	5,758 (0.74)	
	인년(Person-year)	2,256,205	605,583	567,880	1,113,416	
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.88 (0.85-0.92)	0.83 (0.80-0.87)	0.85 (0.83-0.88)	<0.001
뇌졸중	높은 농도의 PM2.5 (≥27.83µg/m3)					
	발생건수 (%)	7,736 (2.12)	1,420 (0.39)	1,325 (0.36)	2,732 (0.75)	
	인년(Person-year)	1,115,540	259,393	245,612	503,807	
	aHR (95% CI)	1.00	0.88	0.86	0.82	0.006

	(reference)	(0.83-0.93)	(0.81-0.91)	(0.70-0.85)
※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)				
보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수				

2. 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 당뇨병 위험 평가

가. 20-30대 젊은 성인

20-30대 젊은 성인에서 PM10 노출의 낮음/중간과 높음의 기준값은 $50.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, PM2.5 노출의 낮음/중간과 높음의 기준값은 $27.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 아래 그림과 같이 콕스비례위험회귀모형을 활용한 분석 결과, 전체 연구대상자를 총 8개 군으로 나누고 (낮은/중간 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 0 MET-분/주, 1-499 MET-분/주, 500-999 MET-분/주 (국제적 운동 가이드라인 권장량), 1000 이상 MET-분/주의 운동을 한 4개 군과, 높은 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 0 MET-분/주, 1-499 MET-분/주, 500-999 MET-분/주, 1000 이상 MET-분/주의 운동을 한 4개 군을 합하여 총 8개 군), 높은 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 운동을 전혀 하지 않는 군(0 MET-분/주)을 대조군으로 두고 비교 분석을 시행했을 때, 각 미세먼지 노출 농도 및 운동량에 따른 당뇨병과의 뚜렷한 관련성을 찾을 수 없었다. 거의 모든 실험군에서 통계적으로 유의하지 않은 값들이 도출되었으며, 미세먼지와 운동의 혼합효과와 당뇨병 발생 위험도 간의 특정한 선형적 관계나 특정한 경향성의 모양은 발견되지 않았다. 즉, 높은 농도의 미세먼지에 노출된 경우든, 낮은/중간 농도의 미세먼지에 노출된 경우든 운동량에 따른 당뇨병 발생 위험도는 특별한 연관성을 보이지 않았다. 미세먼지와 운동의 혼합효과에 따른 당뇨병 발생 위험도를 산출할 때는 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수를 보정한 후 산출하였다.



[그림 24] 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 당뇨병 발생 위험도

* $P < 0.05$

추가적으로 아래 표와 같이 PM2.5의 노출 농도 수준에 따라 층화한 후, 각 층화한 집단 내에서 0 MET-분/주인 군 (운동을 전혀 하지 않는 그룹을 의미함)을 대조군으로 두고 콕스비례위험회귀모형을 활용하여 분석을 시행하였다. 분석 결과, 위 joint category 분석과

마찬가지로 미세먼지와 운동의 혼합효과와 당뇨병 발생 위험도 사이에 뚜렷한 연관성은 관찰되지 않았다. 거의 대부분의 보정된 위험도 값이 통계적으로 유의하지 않았으며, 또한 특별한 선형 관계나 특별한 경향성이 관찰되지 않았다. PM2.5 대신 PM10을 노출변수로 설정하여 분석을 진행했을 때도 결과는 유사했다.

<표 13> 20-30대 젊은 성인에서 PM2.5 농도에 따라 층화하였을 때 운동량 (MET-분/주) 변화에 따른 당뇨병 발생 위험도

	운동량 (MET-분/주)				p for trend
	0	1-499	500-999	≥1000	
낮은/중간 농도의 PM10 (<50.46µg/m3)					
당뇨 발생건수	1,761	4,102	3,558	1,865	
인년(Person-year)	934,076	2,124,226	1,859,228	840,851	
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	1.03 (0.98-1.09)	0.97 (0.92-1.03)	1.09 (1.02-1.17)	0.22
높은 농도의 PM10 (≥50.46µg/m3)					
당뇨 발생건수	906	1,881	1,776	882	
인년(Person-year)	435,514	946,001	819,277	380,780	
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.99 (0.91-1.07)	1.02 (0.94-1.11)	1.05 (0.96-1.15)	0.15
낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.42µg/m3)					
당뇨 발생건수	966	2,465	2,495	1,104	
인년(Person-year)	538,455	1,390,526	1,302,750	541,236	
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	1.02 (0.94-1.10)	0.98 (0.91-1.06)	1.06 (0.97-1.16)	0.52
높은 농도의 PM2.5 (≥27.42µg/m3)					
당뇨 발생건수	647	1,282	1,173	624	
인년(Person-year)	284,020	602,161	513,023	247,733	
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.96 (0.87-1.05)	0.98 (0.89-1.08)	1.06 (0.95-1.18)	0.22

※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)
보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

다음으로 운동량 변화와 미세먼지의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향을 살펴보았다. 아래 표는 PM2.5 노출 농도 수준에 따라 층화한 후, 층화한 집단 내에서 운동량 수준에 따라 그룹을 나눈 후 운동량의 변화에 따라 당뇨병 발생 위험도가 어떻게 나타나는지 콕스비례위험회귀모형을 활용하여 분석한 결과이다. 앞서 한 시점에서 살펴봤을 때 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병 발생 위험도와 아무런 연관성이 발견되지 않았던 것과 마찬가지로, 운동량 변화와 미세먼지의 혼합효과 역시 당뇨병 발생 위험도와 뚜렷한 관계가 관찰되지 않았

다. 거의 대부분의 보정된 위험도 값들이 통계적으로 유의하지 않았으며, 각 미세먼지 노출 농도에 따라 운동량이 변화했을 때 당뇨병 발생 위험도가 특별한 선형 관계라든지 특별한 경향성이 나타나지 않았다.

결론적으로, 20-30대 젊은 성인에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병 발생에 미치는 영향은 통계적으로 유의한 경향성이 나타나지 않았다. 자세한 결과값은 아래 표들을 통해 제시하였다.

<표 14> 20-30대 젊은 성인에서 PM2.5 농도에 따라 증가하였을 때 운동량 (MET-분/주) 변화에 따른 당뇨병 발생 위험도

		두 번째 건강검진 시 운동량 (MET-분/주)			
		0	1-499	500-999	≥1000
낮은 농도의 PM2.5 (<27.42 µg/m3)	기존 운동량 0 MET-분/주				
	발생건수	314	384	272	84
	인년(Person-year)	172,629	248,106	146,192	47,469
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.94 (0.82-1.09)	1.05 (0.90-1.22)	0.98 (0.78-1.23)
	기존 운동량 1-499 MET-분/주				
	발생건수	342	1148	704	216
	인년(Person-year)	211,822	670,077	419,595	108,654
	aHR (95% CI)	0.96 (0.85-1.07)	1.00 (reference)	0.96 (0.88-1.05)	1.11 (0.97-1.28)
	기존 운동량 500-999 MET-분/주				
	발생건수	226	751	1056	408
	인년(Person-year)	118,009	384,125	558,715	205,175
	aHR (95% CI)	0.95 (0.82-1.09)	1.04 (0.95-1.13)	1.00 (reference)	1.04 (0.93-1.16)
기존 운동량 ≥1000 MET-분/주					
발생건수	84	182	363	396	
인년(Person-year)	35,666	87,515	177,526	179,667	
aHR (95% CI)	1.09 (0.87-1.37)	0.91 (0.77-1.08)	0.94 (0.82-1.08)	1.00 (reference)	
높은 농도의 PM10 (≥27.42 µg/m3)	기존 운동량 0 MET-분/주				
	발생건수	218	246	137	41
	인년(Person-year)	103,320	117,268	60,262	23,431
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.97 (0.81-1.15)	1.03 (0.83-1.26)	0.73 (0.53-1.01)
	기존 운동량 1-499 MET-분/주				
	발생건수	240	597	383	128
인년(Person-year)	103,972	284,533	166,507	51,057	
aHR (95% CI)	1.02 (0.89-1.18)	1.00 (reference)	1.09 (0.97-1.24)	1.11 (0.92-1.34)	
기존 운동량					

500-999 MET-분/주				
발생건수	140	329	456	225
인년(Person-year)	56,944	157,204	209,901	88,722
aHR (95% CI)	1.22 (1.02-1.46)	1.01 (0.88-1.16)	1.00 (reference)	1.24 (1.06-1.45)
기존 운동량 ≥1000 MET-분/주				
발생건수	49	110	197	230
인년(Person-year)	19,611	42,810	76,061	84,373
aHR (95% CI)	0.90 (0.67-1.22)	0.95 (0.76-1.18)	0.98 (0.81-1.17)	1.00 (reference)

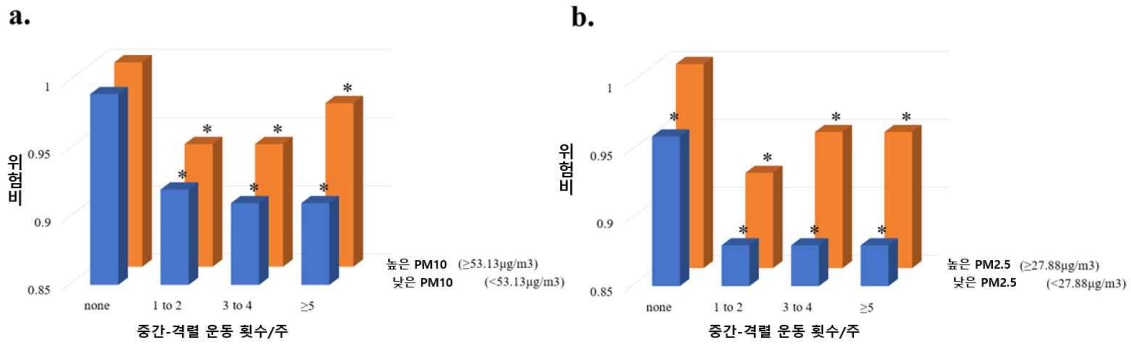
※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)

보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

나. 58세 이상 고령 인구

58세 이상 고령 인구에서 PM10의 낮음/중간과 높음의 기준값은 $53.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, PM2.5의 낮음/중간과 높음의 기준값은 $27.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 아래 그림과 같이 콕스비례위험회귀모형을 활용한 분석 결과, 전체 연구대상자를 총 8개 군으로 나누고 (낮음/중간 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 중간-격렬 운동을 각각 0회/주, 1~2회/주, 3~4회/주, 5회 이상/주 하는 4개 군과 높은 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 중간-격렬 운동을 각각 0회/주, 1~2회/주, 3~4회/주, 5회 이상/주 하는 4개 군을 합하여 총 8개 군), 높은 농도의 미세먼지에 노출되었으면서 운동을 전혀 하지 않는 군을 대조군으로 두었을 때, PM10이든 PM2.5든 미세먼지 농도에 관계 없이 운동을 많이 할수록 당뇨병 발생 위험도를 유의하게 감소시키는 것으로 확인되었다²⁵⁾ (낮음/중간 노출 농도의 PM10 + 중간-격렬 운동 5회 이상: HR 0.91, 95% CI 0.89-0.93; 높은 노출 농도의 PM10 + 운동 5회 이상: HR 0.97, 95% CI 0.94-0.99; 낮음/중간 노출 농도의 PM2.5 + 운동 5회 이상: HR 0.88, 95% CI 0.85-0.90; 높은 노출 농도의 PM2.5 + 운동 5회 이상: HR 0.95, 95% CI 0.91-0.99). 다만 이러한 위험감소효과는 높은 농도의 PM10 혹은 PM2.5에서는 약간 희석되는 경향이 보였으며 (역-J 모양 그래프), 실제로 중간-격렬 강도 운동 3-4회/주 까지는 위험도가 계속해서 줄어들다가 5회 이상/주 에서는 약간 위험감소 효과가 줄어든 모습을 확인할 수 있었다. 그러나 이 역시 통계적으로 유의한 감소 효과를 나타내어, 위험감소 효과는 여전히 유효하였다.

25) 미세먼지와 운동의 혼합효과에 따른 당뇨병 발생 위험도를 산출할 때 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수를 보정한 후 산출하였다.



[그림 25] 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 당뇨병 발생 위험도

* P<0.05

아래 표와 같이 미세먼지 노출 농도 수준에 따라 층화한 후, 각 층화한 그룹 내에서 운동을 전혀 하지 않는 군을 비교군으로 두고 콕스비례위험회귀모형을 활용한 분석 결과, 이번에도 역시 PM10이든 PM2.5든 미세먼지 노출 농도에 관계없이 운동을 많이 할수록 (주 5회 이상) 당뇨병 발생 위험도를 유의하게 감소시키는 것으로 확인되었다 (낮은/중간 노출 농도의 PM10 aHR 0.92, 95% CI 0.90-0.94; 높은 노출 농도의 PM10 aHR 0.97, 95% CI 0.94-1.00; 낮은/중간 노출 농도의 PM2.5 aHR 0.91, 95% CI 0.89-0.94; 높은 노출 농도의 PM2.5 aHR 0.95, 95% CI 0.91-0.99). 이때도 역시 미세먼지 노출 수준이 높은 곳에서는 운동에 의한 당뇨병 발생 위험감소 효과가 희석되는 경향이 보였지만, 여전히 위험감소 효과는 통계적으로 유의하게 확인이 되어 58세 이상 고령 인구에서는 미세먼지 노출 수준에 관계없이 운동을 하는 것이 당뇨병 예방 효과를 가짐을 시사하였다.

〈표 15〉 58세 이상 고령 인구에서 미세먼지 농도에 따라 층화하였을 때 중간-격렬 운동에 따른 당뇨병 발생 위험도

	중간-격렬 운동 횟수 (주)				p for trend	p for interaction
	0 회	1-2 회	3-4 회	≥5 회		
낮은/중간 농도의 PM10 (<53.13µg/m3)						
총 인원	456,213	116,762	108,493	206,703		0.016
당뇨 발생건수	27,607	6,332	5,835	11,227		
인년(Person-year)	2,663,635	683,984	635,854	1,211,233		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.93 (0.90-0.95)	0.92 (0.89-0.95)	0.92 (0.90-0.94)	<0.001	
높은 농도의 PM10 (≥53.13µg/m3)						
총 인원	196,911	46,260	42,853	85,676		
당뇨 발생건수	12,016	2,566	2,368	4,924		
인년(Person-year)	1,149,715	270,843	250,951	501,418		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.94 (0.90-0.98)	0.94 (0.90-0.98)	0.97 (0.94-1.00)	0.017	
낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.88µg/m3)						
총 인원	302,755	82,859	76,925	143,137		0.072
당뇨 발생건수	17,554	4,271	3,960	7,539		
인년(Person-year)	1,769,762	486,090	451,502	839,605		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.91 (0.88-0.95)	0.92 (0.89-0.95)	0.91 (0.89-0.94)	<0.001	
높은 농도의 PM2.5 (≥27.88µg/m3)						
총 인원	133,329	29,925	27,650	56,505		
당뇨 발생건수	8,332	1,670	1,599	3,285		
인년(Person-year)	777,986	175,291	161,617	330,441		
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.92 (0.87-0.97)	0.95 (0.90-0.99)	0.95 (0.91-0.99)	0.006	

※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)

보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

추가적으로 기저 공복혈당이 정상인 군과 (공복혈당 < 100mg/dL) 공복혈당장애를 가진 군 (공복혈당 100~125mg/dL)으로 나누어 위와 동일한 방식의 분석을 진행하였다. 이 때 공복혈당장애를 가진 군에서 위험감소 효과가 전반적으로 약간씩 희석되는 경향은 있었으나, 전반적으로 유사하게 미세먼지 노출 농도에 관계없이 운동이 당뇨병 위험 발생도를 감소시키는 경향을 보였다.

〈표 16〉 58세 이상 고령 인구에서 기저 공복혈당과 미세먼지 농도에 따라 층화하였을 때 중간-격렬 운동에 따른 당뇨병 발생 위험도

		중간-격렬 운동 횟수 (주)			
		0 회	1-2 회	3-4 회	≥5 회
정상공복혈당 (<100 mg/dL)	낮은/중간 농도의 PM10 (<53.13µg/m3)				
	총 인원	315,693	80,240	74,686	140,418
	당뇨 발생건수	10,538	2,290	2,083	4,016
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.91 (0.87-0.95)	0.89 (0.85-0.93)	0.90 (0.87-0.93)
	높은 농도의 PM10 (≥53.13µg/m3)				
	총 인원	134,645	31,345	29,038	57,799
	당뇨 발생건수	4,516	920	839	1,767
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.92 (0.86-0.99)	0.92 (0.85-0.99)	0.96 (0.90-1.01)
	낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.88µg/m3)				
	총 인원	207,782	56,587	52,343	96,100
	당뇨 발생건수	6,357	1,462	1,342	2,533
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.89 (0.84-0.94)	0.89 (0.84-0.94)	0.88 (0.84-0.93)
높은 농도의 PM2.5 (≥27.88µg/m3)					
총 인원	89,910	20,058	18,552	37,735	
당뇨 발생건수	3,125	588	575	1,164	
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.88 (0.81-0.96)	0.93 (0.85-1.02)	0.92 (0.86-0.99)	
공복혈당장애 (100-125mg/dL)	낮은/중간 농도의 PM10 (<53.13µg/m3)				
	총 인원	140,520	36,522	33,807	66,285
	당뇨 발생건수	17,069	4,042	3,752	7,211
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.95 (0.91-0.98)	0.95 (0.92-0.99)	0.94 (0.91-0.97)
	높은 농도의 PM10 (≥53.13µg/m3)				
	총 인원	62,266	14,915	13,815	27,877
	당뇨 발생건수	7,500	1,646	1,529	3,157
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.95 (0.90-1.00)	0.96 (0.90-1.01)	0.99 (0.95-1.03)
	낮은/중간 농도의 PM2.5 (<27.88µg/m3)				
	총 인원	94,973	26,272	24,582	47,037
	당뇨 발생건수	11,197	2,809	2,618	5,006
	aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.95 (0.91-0.99)	0.95 (0.91-0.99)	0.95 (0.92-0.99)

높은 농도의 PM2.5 ($\geq 27.88\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
총 인원	43,419	9,867	9,098	18,770
당뇨 발생건수	5,207	1,082	1,024	2,121
aHR (95% CI)	1.00 (reference)	0.95 (0.89-1.02)	0.98 (0.91-1.04)	0.99 (0.94-1.04)

※ aHR: 보정된 위험도 (adjusted Hazard Ratio), 95% CI: 95% 신뢰구간 (confidence intervals)

보정변수: 연령, 성별, 소득 수준, 체질량지수, 흡연 여부, 음주 상태, 혈압, 총 콜레스테롤, Charlson 동반질환지수

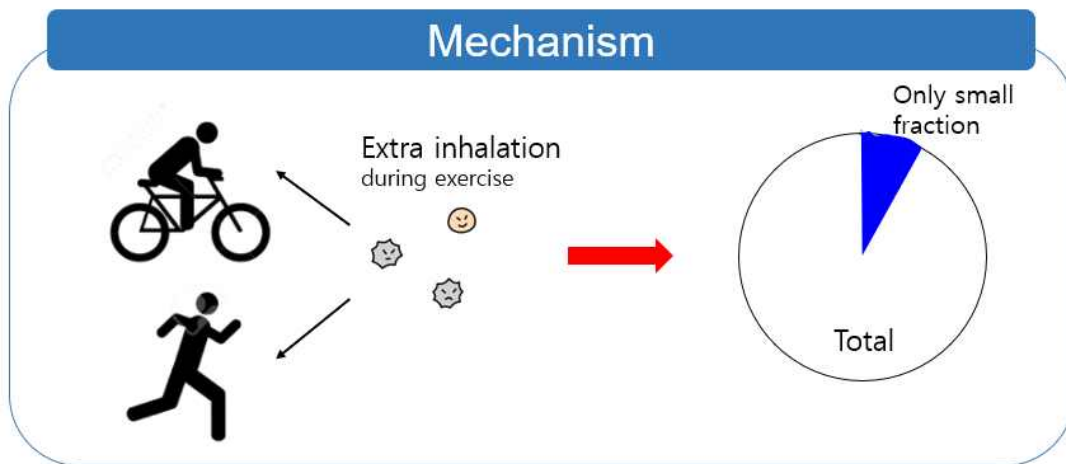
V. 고찰 및 결론

이상 본 연구에서는 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강 영향을 심혈관질환과 당뇨병을 중심으로 20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구에서 살펴보았다. 요약하면 심혈관질환의 경우 미세먼지 (PM10과 PM2.5 모두) 노출 농도에 관계 없이 국제적 운동 가이드라인 권장량 수준 (주 5회 이상의 중간-격렬 강도 운동, 혹은 500-1000 MET-분/주) 정도까지는 운동을 많이 할수록 심혈관질환 발생 위험도가 감소한다는 것을 20-30대 젊은 성인과 58세 이상 고령 인구에서 모두 확인할 수 있었다. 20-30대 젊은 성인에서는 운동량 변화와 미세먼지의 혼합효과가 심혈관질환에 미치는 영향을 추가적으로 살펴보았는데, 이때도 마찬가지로 높은 농도의 미세먼지에 노출되더라도 국제적 운동 가이드라인 권장량 수준 (500-1000 MET-분/주) 정도까지는 운동량을 늘리면 심혈관질환 발생 위험도가 감소하는 경향이 확인되었지만, 1000 MET-분/주 이상으로 운동량을 늘렸을 때 운동의 위험감소 효과가 희석되는 경향이 나타났다. 그러나 이는 통계적으로 유의하진 않았기 때문에 보다 명확한 파악을 위해서는 후속 연구의 필요성이 제기되었다. 반면 58세 이상 고령 인구에서는 높은 농도의 미세먼지에 노출되더라도 높은 운동량이 심혈관질환 위험도 감소에 더욱 도움이 되는 것으로 확인되었다. 당뇨병의 경우에는 20-30대 젊은 성인에서는 미세먼지와 운동의 혼합효과와 당뇨병 사이에 뚜렷한 관계를 찾을 수 없었으나, 58세 이상 고령 인구에서는 미세먼지 노출 농도에 관계 없이 운동을 많이 할수록 유의한 위험감소 효과가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 다만 58세 이상 고령 인구에서 높은 농도의 미세먼지에 노출되었을 때 높은 운동량 (주 5회 이상의 중간-격렬 강도 운동)에 따른 위험감소 효과가 약간은 희석되는 것처럼 보였으나, 그럼에도 불구하고 여전히 통계적으로 유의하게 당뇨병 발생 위험도를 낮추는 것으로 나타나 운동의 위험감소 효과가 유효한 것으로 확인되었다.

그동안 미세먼지가 심혈관질환이나 당뇨병 발생에 악영향을 끼친다는 점, 반대로 운동은 질환 발생에 예방 효과를 가진다는 점은 잘 알려져 있었으나, 본 연구주제와 같이 미세먼지와 운동의 혼합효과가 심혈관질환 및 당뇨병 발생에 미치는 영향에 대해서는 세계적으로도 최초로 연구가 진행되었다는 점에서 매우 큰 의의가 있다고 볼 수 있다. 특히, 20-30대 젊은 성인의 경우에는 운동의 필요성이 더욱 강조되는 연령대임에도 불구하고, 전 세계적으로도 건강정보 데이터가 매우 부족하여 운동 관련 연구가 드문 상황이다. 이렇게 연구가 부족한 연령인 20-30대 젊은 성인을 포함하여 생활습관 변화의 중요성이 강조되는 고령 인구의 연령대까지 폭넓게 살펴보았다는 점에서 본 연구가 더욱 의미를 가진다고 볼 수 있을 것이다.

앞서 미세먼지와 운동 각각이 질병 발생에 대해 미치는 영향을 국내외 연구된 문헌들을 고찰하며 살펴본 바와 같이, 미세먼지와 운동은 심혈관질환 및 당뇨병 발생에 있어 서로 상반된 효과를 가지고 있다. 이 때문에 과연 두 요인이 혼합되어 영향을 발휘할 때는 어떤 요인이 더 큰 효과를 발휘할지 해결되지 않은 미지의 영역으로 남아있었다. 그러나 본 연구

결과 20-30대 젊은 성인에서는 운동 가이드라인 권장량까지는 미세먼지 농도에 관계 없이 운동을 늘리는 것이 심혈관질환 발생 위험도를 낮추고, 58세 이상 고령 인구에서는 미세먼지 농도에 관계 없이 운동량이 높을수록 심혈관질환과 당뇨병 발생 위험도가 모두 낮아진다는 흥미로운 사실을 밝혀냈다. 이러한 현상에 대해 아직까지 명확하게 알려진 생물학적 기전은 없으나, 운동을 하는 동안 추가적으로 흡입하게 되는 미세먼지의 급성노출이 미치는 심혈관계 손상이나 (심혈관질환 발생에 기여) 내분비계 손상 (당뇨병 발생에 기여)이 비교적 일시적이며 회복 가능한 수준임을 시사한다고 볼 수 있다 (Thiering and Heinrich, 2015; Andersen et al., 2015). 동시에 이러한 미세먼지 노출이 미치는 악영향이 장기간의 운동을 통해 얻을 수 있는 건강상 이득 효과 및 영향을 넘어서지 못한다는 것을 시사한다고 볼 수 있다. 뿐만 아니라, 운동 중 추가적으로 흡입하는 미세먼지의 양은 사실 하루 전체동안 흡입하는 미세먼지의 양에 비해서는 상당히 작은 부분에 불과하기 때문에²⁶⁾, 이러한 추가적 미세먼지 노출이 심혈관질환이나 당뇨병 발생 위험도를 높일만큼 충분하지 않다는 점 역시도 암시한다고 볼 수 있을 것이다. 물론 이는 합리적인 기저 메커니즘의 가능성을 논한 것이며, 추후 실험 연구나 생물학적 수준의 미시적 연구 등을 통해 해당 메커니즘의 타당성 여부를 검증해야할 것이다.



[그림 26] 운동 중 미세먼지의 추가 흡입에 대한 간단한 모식도

다만, 58세 이상 고령 인구에서와는 달리 20-30대 젊은 성인에서는 미세먼지와 운동의 혼합효과와 당뇨병 사이에 뚜렷한 관계가 발견되지 않았는데, 이에 대한 생물학적 기전도

26) 하루에 운동을 아무리 많이 하더라도 한계가 있기 때문. 운동 가이드라인 권장량이 1주일에 중간 강도의 운동 150분 혹은 격렬 강도의 운동 75분 정도를 권장하고 있고 500-1000 MET-분/주도 환산해보면 비슷한 운동량 수준이므로, 이를 하루당 필요한 운동량으로 나눠보면 중간 강도의 운동은 약 20분, 격렬 강도의 운동은 약 10분 정도임을 알 수 있다. 물론 이보다 더 많은 양의 운동을 할 수 있지만, 대부분의 경우 하루에 시행하는 운동량 동안에 추가적으로 흡입하는 미세먼지의 양은 24시간 동안 흡입하는 미세먼지 양에 비하면 일부분에 불과할 것이다.

명확히 알려진 바는 없으나 아마도 당뇨병의 병태 생리와 연관이 있을 것으로 추정된다. 당뇨병 발생에 기여하는 요인으로는 크게 유전적 요인과 환경적 요인으로 나뉘볼 수 있다. 유전적 요인의 측면에서 보면, 당뇨병 발생에 있어 유전적 감수성이 높은 유전자를 물려받았을 경우 당뇨병이 보다 더 잘 발병할 수 있을 것이다. 환경적 요인의 측면에서 보면, 당뇨병의 생리학적 기전 상 비만이나 과도한 열량섭취 등으로 인한 내분비계 손상 영향이 장기화되면 만성적으로 인슐린 저항성이 올라가게 되고, 이로 인해 혈당조절 기능이 망가지면 당뇨병이 발생하게 된다. 이러한 이유들로 인해 제2형 당뇨병은 일반적으로 어느 정도 시간이 흐른 후 나이가 들면 환경적 요인이 만성적으로 쌓여 대부분 최소 40대 이상에서 발병하게 된다. 그런데 20-30대 젊은 연령대에 발병하는 당뇨병은 이러한 만성적인 환경적 요인이 누적되기에 일반적으로는 아직 충분한 시간은 아니라는 점을 고려한다면, 아마도 20-30대에 발생하는 조기 당뇨병 발생은 환경적 요인보다는 유전적 요인이 보다 크게 작용할 가능성이 높지 않을까 추측해볼 수 있다. 이 때문에 환경적 요인인 미세먼지와 운동의 혼합효과가 당뇨병에 미치는 영향이 뚜렷하게 나타나지 않은 것일 가능성이 있다. 즉, 운동이 미세먼지 노출 농도에 관계 없이 당뇨병 예방에 아무런 효과가 없다는 것이 아니라, 운동이 영향을 미칠 수 있는 환경적 요인의 이득이 아직은 드러나지 않은 것일 수 있다는 것이다. 따라서 추후 본 연구보다 더 긴 추적관찰 기간을 통해 충분한 시간동안 20-30대 젊은 성인의 당뇨병 발생 여부를 감지하고, 여기에 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 영향을 다시 한 번 살펴본다면 유의한 연관성이 관찰될 수 있을 것이다. 실제로 고령 인구에서 유의한 연관성이 나타난 것을 고려해보면 충분히 가능성이 있다.

결론적으로, 젊은 성인과 고령 인구에서 모두 미세먼지 농도에 관계 없이 운동량을 늘리는 것이 심혈관질환 및 당뇨병 발생을 예방할 수 있는 방법 중 하나임을 제안하고자 한다. 물론 앞서 서술한 바와 같이 20-30대 젊은 성인의 경우에는 높은 농도의 미세먼지에 노출되었을 때는 1000 MET-분/주 이상으로 운동량을 늘렸을 때 심혈관질환에 있어 운동의 위험감소 효과가 약화되는 듯 보였지만, 이는 통계적으로 유의하지 않았기 때문에 추후 이를 검증할 수 있는 연구가 필요하며, 다르게 말하면 결국 운동량을 많이 늘리더라도 심혈관질환 위험도를 적어도 유의하게 증가시키진 않음을 의미한다. 또한 1000 MET-분/주 수준, 즉 국제적 운동 가이드라인 권장량 정도를 충족시키기 위해서는 1주일에 중간-격렬 강도의 운동을 75~150분 이상은 해야 하는데, 이는 생각보다 달성하기 쉽지 않은 수치이다. 실제로 2010년 국민생활체육참여실태조사에 따르면, 2010년 기준 20-30대의 경우 주 2-3회 이상 규칙적으로 운동하는 비율이 불과 36.4~38.0%에 불과하고, 50대의 경우 48.5%로 절반이 채 안 된다. 심지어 운동을 전혀 하지 않는 비율이 20-30대의 경우 남자는 약 42~44%, 여자는 53~60%에 달하고 50대의 경우 약 35~39%에 달한다. 즉, 현 상황에서는 적절한 양의 운동을 하고 있는 비율이 상당히 낮기 때문에, 일단은 미세먼지에 대한 과도한 걱정보다는 일단 규칙적인 운동에 참여하는 것이 심혈관질환과 당뇨병을 예방하는데 더 유리할 것이다.

본 연구 결과가 향후 미세먼지 농도에 따른 외부활동 권장 여부 등에 대한 가이드라인을

정책적으로 결정함에 있어 유용하게 활용될 수 있으리라 기대한다. 현재 국내의 권장 정책으로는 미세먼지가 ‘나쁨’ 이상 수치일 경우 가급적 외출을 자제하도록 권장하고 있으며, 불가피하게 외출을 해야할 경우에는 보건용 마스크를 사용하도록 권장하고 있다. 그러나 사실 이러한 정책이 결정된 기저에는 뚜렷한 근거기반 자료가 없다는 것이 문제이며, 그나마 연관이 있는 근거 자료 역시도 대부분 해외에서 연구된 자료라는 한계점이 있다.

따라서 본 연구를 시작으로 미세먼지와 운동의 혼합효과가 미치는 건강 영향에 대해 국내의 다양한 자료를 활용한 많은 연구들이 진행될 것으로 기대된다. 또한, 이러한 근거 자료들이 점차 쌓여 향후 효과적인 정책이 마련된다면, 이는 곧 국민 건강의 큰 개선으로 이어질 것이라 믿는다.

참 고 문 헌

1. Collaborators, G.B.D.C.o.D., Global, regional, and national age-sex specific mortality for 264 causes of death, 1980–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet*, 2017. 390(10100): p. 1151–1210.
2. Thompson, P.D., et al., Exercise and physical activity in the prevention and treatment of atherosclerotic cardiovascular disease: a statement from the Council on Clinical Cardiology (Subcommittee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention) and the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism (Subcommittee on Physical Activity). *Circulation*, 2003. 107(24): p. 3109–16.
3. Johnsen, N.F., et al., Leisure time physical activity and mortality. *Epidemiology*, 2013. 24(5): p. 717–25.
4. Samitz, G., M. Egger, and M. Zwahlen, Domains of physical activity and all-cause mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *Int J Epidemiol*, 2011. 40(5): p. 1382–400.
5. Schnohr, P., et al., Long-term physical activity in leisure time and mortality from coronary heart disease, stroke, respiratory diseases, and cancer. The Copenhagen City Heart Study. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 2006. 13(2): p. 173–9.
6. Lu, J., et al., Air Pollution Exposure and Physical Activity in China: Current Knowledge, Public Health Implications, and Future Research Needs. *Int J Environ Res Public Health*, 2015. 12(11): p. 14887–97.
7. Miller, K.A., et al., Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *N Engl J Med*, 2007. 356(5): p. 447–58.
8. Pope, C.A., 3rd, et al., Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 2002. 287(9): p. 1132–41.
9. Pope, C.A., 3rd, M. Ezzati, and D.W. Dockery, Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *N Engl J Med*, 2009. 360(4): p. 376–86.
10. Kim, S.R., et al., Combined Effects of Physical Activity and Air Pollution on Cardiovascular Disease: A Population-Based Study. *J Am Heart Assoc*, 2020. 9(11): p. e013611.
11. Piercy, K.L., et al., The Physical Activity Guidelines for Americans. *JAMA*, 2018. 320(19): p. 2020–2028.
12. Andersson, C. and R.S. Vasan, Epidemiology of cardiovascular disease in young

- individuals. *Nat Rev Cardiol*, 2018. 15(4): p. 230–240.
13. Cheol Seong, S., et al., Data Resource Profile: The National Health Information Database of the National Health Insurance Service in South Korea. *Int J Epidemiol*, 2017. 46(3): p. 799–800.
 14. Seong, S.C., et al., Cohort profile: the National Health Insurance Service–National Health Screening Cohort (NHIS–HEALS) in Korea. *BMJ Open*, 2017. 7(9): p. e016640.
 15. Jeong, S.W., et al., Mortality reduction with physical activity in patients with and without cardiovascular disease. *Eur Heart J*, 2019. 40(43): p. 3547–3555.
 16. Eckel, R.H., et al., 2013 AHA/ACC guideline on lifestyle management to reduce cardiovascular risk: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol*, 2014. 63(25 Pt B): p. 2960–84.
 17. Piepoli, M.F., et al., 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts)Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J*, 2016. 37(29): p. 2315–2381.
 18. Writing Group, M., et al., Heart Disease and Stroke Statistics–2016 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*, 2016. 133(4): p. e38–360.
 19. Durrleman, S. and R. Simon, Flexible regression models with cubic splines. *Stat Med*, 1989. 8(5): p. 551–61.
 20. Sundararajan, V., et al., New ICD–10 version of the Charlson comorbidity index predicted in–hospital mortality. *J Clin Epidemiol*, 2004. 57(12): p. 1288–94.
 21. Strak, M., et al., Respiratory health effects of ultrafine and fine particle exposure in cyclists. *Occup Environ Med*, 2010. 67(2): p. 118–24.
 22. Giles, L.V. and M.S. Koehle, The health effects of exercising in air pollution. *Sports Med*, 2014. 44(2): p. 223–49.
 23. Brook, R.D., et al., Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 2010. 121(21): p. 2331–78.
 24. Dockery, D.W. and P.H. Stone, Cardiovascular risks from fine particulate air pollution. *N Engl J Med*, 2007. 356(5): p. 511–3.

25. Shrey, K., et al., Air pollutants: the key stages in the pathway towards the development of cardiovascular disorders. *Environ Toxicol Pharmacol*, 2011. 31(1): p. 1-9.
26. Yu, I.T., T.W. Wong, and H.J. Liu, Impact of air pollution on cardiopulmonary fitness in schoolchildren. *J Occup Environ Med*, 2004. 46(9): p. 946-52.
27. Kubesch, N., et al., Arterial blood pressure responses to short-term exposure to low and high traffic-related air pollution with and without moderate physical activity. *Eur J Prev Cardiol*, 2015. 22(5): p. 548-57.
28. Andersen, Z.J., et al., A study of the combined effects of physical activity and air pollution on mortality in elderly urban residents: the Danish Diet, Cancer, and Health Cohort. *Environ Health Perspect*, 2015. 123(6): p. 557-63.
29. Williams, M.A., et al., Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. *Circulation*, 2007. 116(5): p. 572-84.
30. Garber, C.E., et al., American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 2011. 43(7): p. 1334-59.
31. Bassuk, S.S. and J.E. Manson, Epidemiological evidence for the role of physical activity in reducing risk of type 2 diabetes and cardiovascular disease. *J Appl Physiol* (1985), 2005. 99(3): p. 1193-204.
32. Alvarez-Guardia, D., et al., PPARbeta/delta activation blocks lipid-induced inflammatory pathways in mouse heart and human cardiac cells. *Biochim Biophys Acta*, 2011. 1811(2): p. 59-67.
33. Fisher, J.E., et al., Physical Activity, Air Pollution, and the Risk of Asthma and Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med*, 2016. 194(7): p. 855-865.
34. An, R., et al., Impact of ambient air pollution on physical activity among adults: a systematic review and meta-analysis. *Perspect Public Health*, 2018. 138(2): p. 111-121.
35. World Cancer Research Fund International/American Institute for Cancer Research. Continuous Update Project Report: Diet, Nutrition, Physical Activity and Stomach Cancer. 2016. Available at: wcrf.org/stomach-cancer-2016.
36. Lundback, M., et al., Experimental exposure to diesel exhaust increases arterial stiffness in man. *Part Fibre Toxicol*, 2009. 6: p. 7.

37. Rundell, K.W. and R. Caviston, Ultrafine and fine particulate matter inhalation decreases exercise performance in healthy subjects. *J Strength Cond Res*, 2008. 22(1): p. 2-5.
38. Shah, A.P., et al., Effect of inhaled carbon ultrafine particles on reactive hyperemia in healthy human subjects. *Environ Health Perspect*, 2008. 116(3): p. 375-80.
39. Rojas-Rueda, D., et al., The health risks and benefits of cycling in urban environments compared with car use: health impact assessment study. *BMJ*, 2011. 343: p. d4521.
40. Ogurtsova, K., et al., IDF Diabetes Atlas: Global estimates for the prevalence of diabetes for 2015 and 2040. *Diabetes Res Clin Pract*, 2017. 128: p. 40-50.
41. Collaboration, N.C.D.R.F., Worldwide trends in diabetes since 1980: a pooled analysis of 751 population-based studies with 4.4 million participants. *Lancet*, 2016. 387(10027): p. 1513-1530.
42. Mortality, G.B.D. and C. Causes of Death, Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*, 2016. 388(10053): p. 1459-1544.
43. Bommer, C., et al., Global Economic Burden of Diabetes in Adults: Projections From 2015 to 2030. *Diabetes Care*, 2018. 41(5): p. 963-970.
44. Colberg, S.R., et al., Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 2016. 39(11): p. 2065-2079.
45. Hughes, V.A., et al., Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity, and health. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2001. 56(5): p. B209-17.
46. Wang, B., et al., Effect of long-term exposure to air pollution on type 2 diabetes mellitus risk: a systemic review and meta-analysis of cohort studies. *Eur J Endocrinol*, 2014. 171(5): p. R173-82.
47. He, D., et al., Association between particulate matter 2.5 and diabetes mellitus: A meta-analysis of cohort studies. *J Diabetes Investig*, 2017. 8(5): p. 687-696.
48. Sun, Q., et al., Ambient air pollution exaggerates adipose inflammation and insulin resistance in a mouse model of diet-induced obesity. *Circulation*, 2009. 119(4): p. 538-46.
49. Thiering, E., et al., Long-term exposure to traffic-related air pollution and

- insulin resistance in children: results from the GINIplus and LISAplus birth cohorts. *Diabetologia*, 2013. 56(8): p. 1696–704.
50. Liu, C., et al., Air pollution-mediated susceptibility to inflammation and insulin resistance: influence of CCR2 pathways in mice. *Environ Health Perspect*, 2014. 122(1): p. 17–26.
 51. O'Neill, M.S., et al., Air pollution and inflammation in type 2 diabetes: a mechanism for susceptibility. *Occup Environ Med*, 2007. 64(6): p. 373–9.
 52. Franchini, M. and P.M. Mannucci, Thrombogenicity and cardiovascular effects of ambient air pollution. *Blood*, 2011. 118(9): p. 2405–12.
 53. Teichert, T., et al., Association between traffic-related air pollution, subclinical inflammation and impaired glucose metabolism: results from the SALIA study. *PLoS One*, 2013. 8(12): p. e83042.
 54. Potera, C., Toxicity beyond the lung: connecting PM2.5, inflammation, and diabetes. *Environ Health Perspect*, 2014. 122(1): p. A29.
 55. Shin, W.Y., et al., Exposure to ambient fine particulate matter is associated with changes in fasting glucose and lipid profiles: a nationwide cohort study. *BMC Public Health*, 2020. 20(1): p. 430.
 56. Snowling, N.J. and W.G. Hopkins, Effects of different modes of exercise training on glucose control and risk factors for complications in type 2 diabetic patients: a meta-analysis. *Diabetes Care*, 2006. 29(11): p. 2518–27.
 57. Thiering, E. and J. Heinrich, Epidemiology of air pollution and diabetes. *Trends Endocrinol Metab*, 2015. 26(7): p. 384–94.
 58. Powell, K.E., et al., The Scientific Foundation for the Physical Activity Guidelines for Americans, 2nd Edition. *J Phys Act Health*, 2018: p. 1–11.
 59. Turner, M.C., et al., Long-term ambient fine particulate matter air pollution and lung cancer in a large cohort of never-smokers. *Am J Respir Crit Care Med*, 2011. 184(12): p. 1374–81.
 60. Tainio, M., et al., Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking? *Preventive Medicine*, 2016. 87: p. 233–236.
 61. Mueller, N., et al., Health impact assessment of active transportation: A systematic review. *Prev Med*, 2015. 76: p. 103–14.
 62. Liang, L., et al., Assessment of personal exposure to particulate air pollution: the first result of City Health Outlook (CHO) project. *BMC Public Health*, 2019. 19(1): p. 711.
 63. von Schneidemesser, E., et al., Air pollution at human scales in an urban environment: Impact of local environment and vehicles on particle number

- concentrations. *Sci Total Environ*, 2019. 688: p. 691–700.
64. Luscher, T.F., Inflammation: the new cardiovascular risk factor. *Eur Heart J*, 2018. 39(38): p. 3483–3487.
65. Newby, D.E., et al., Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease. *Eur Heart J*, 2015. 36(2): p. 83–93b.
66. Son, J.S., et al., Association of Blood Pressure Classification in Korean Young Adults According to the 2017 American College of Cardiology/American Heart Association Guidelines With Subsequent Cardiovascular Disease Events. *JAMA*, 2018. 320(17): p. 1783–1792.
67. Qin, F., et al., Exercise and air pollutants exposure: A systematic review and meta-analysis. *Life Sci*, 2019. 218: p. 153–164.

안 내 문

본 보고서의 내용은 연구자의 의견이며, (재)숲과나눔의
공식적인 견해와는 다를 수 있습니다.