

大气颗粒物暴露与缺血性心脏病关联的流行病学研究进展

张泽, 吴柳, 李浩芃, 晋小婷, 郑玉新

青岛大学公共卫生学院, 山东 青岛 266071

摘要:

缺血性心脏病 (IHD) 是我国除中风外的第二大心血管疾病, 大气颗粒物 (PM) 与 IHD 的相关性研究值得关注。本综述搜集了国内外针对 PM 与 IHD 相关性的流行病学研究, 围绕 PM 的粒径差异、区域差异两个方面综述二者相关性的研究进展, 并分析了不同环境因素条件下 PM 暴露对 IHD 的影响。文献综合分析结果佐证了 PM 暴露与 IHD 死亡的关系, PM_{2.5}、PM₁₀ 每升高 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 人群 IHD 死亡效应值分别为 1.023 6 (95% CI: 1.018 4~1.028 8)、1.010 6 (95% CI: 1.007 5~1.013 7), 并且 PM 暴露可增加 IHD 的发病率。大多数研究集中在亚洲和北美洲国家关于 PM₁₀ 以及 PM_{2.5} 对 IHD 的影响, PM₁ 与 IHD 的研究资料缺乏, 其他地区或国家 PM 与 IHD 的研究资料也不足。不同环境因素 (温度、湿度、季节) 条件下 PM 暴露对 IHD 影响研究较为有限, 有待进一步研究。

关键词: 大气颗粒物; 缺血性心脏病; 粒径; 区域; 环境因素; 流行病学研究

Associations between atmospheric particulate matter exposure and ischemic heart disease: A review of epidemiological studies ZHANG Ze, WU Liu, LI Hao-peng, JIN Xiao-ting, ZHENG Yu-xin (School of Public Health, Qingdao University, Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract:

Ischemic heart disease (IHD) is the second most common cause of death in cardiovascular diseases in China, next to stroke, and the correlations between particulate matter (PM) exposure and IHD are noteworthy to study. This review collected domestic and foreign epidemiological studies on PM and IHD, explored the associations between PM and IHD from the perspective of particle sizes and regional differences, and analyzed the effects of PM exposure on IHD under different environmental factors. The results support the relationships between PM exposure and IHD death: for per 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ increase in PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations, the combined effect values of IHD mortality are 1.023 6 (95% CI: 1.018 4-1.028 8) and 1.010 6 (95% CI: 1.007 5-1.013 7) respectively, and also indicate that PM stimulation is tightly associated with increased IHD occurrence. Most of the studies focus on the effects of PM₁₀ and PM_{2.5} on IHD in Asian and North American countries. However, the research data on PM₁ exposure and IHD in Asian and North American countries and on PM and IHD in regions out of Asia and North America are insufficient. Epidemiological studies about the impacts of different environmental factors on PM-caused IHD are also scant and need to be further extended.

Keywords: atmospheric particulate matter; ischemic heart disease; particle size; region; environmental factor; epidemiological study

大气颗粒物 (particulate matter, PM) 是大气中固态、液态颗粒物的混合物, 均匀稳定分散在空气中, 形成了气溶胶体系^[1], 其主要来源于自然活动和人为活动^[2-3]。根据空气动力学直径, 可将 PM 大致分为 PM₁₀、PM_{2.5} 和 PM₁₀。中华人民共和国生态环境部的最新报告显示, 近年来我国 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 年平均质量浓度 (简称为浓度) 虽然略有下降, 但污染形势仍然十分严峻^[4]。随着人们对 PM 认识的逐渐深入, 其健康风险研究也在广泛开展。越来越多的研究显示, PM 与心血管疾病的发病率和死亡率显著相关^[5], 是诱发心血管疾病发病率和死亡率逐年递增的重要风险因素。一项多国家多城市的研究揭示, PM₁₀ 和

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.20133

基金项目

国家自然科学基金项目 (21976114, 21707085); 山东省泰山青年学者资助项目 (tsqn201909101)

作者简介

张泽 (1997—), 男, 硕士生;
E-mail: 1658755400@qq.com

通信作者

晋小婷, E-mail: xtjin@qdu.edu.cn

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-03-28

录用日期 2020-08-03

文章编号 2095-9982(2020)09-0936-07

中图分类号 R122

文献标志码 A

引用

张泽, 吴柳, 李浩芃, 等. 大气颗粒物暴露与缺血性心脏病关联的流行病学研究进展 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (9): 936-942.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20133

Funding

This study was funded.

Correspondence to

JIN Xiao-ting, E-mail: xtjin@qdu.edu.cn

Competing interests None declared

Received 2020-03-28

Accepted 2020-08-03

To cite

ZHANG Ze, WU Liu, LI Hao-peng, et al. Associations between atmospheric particulate matter exposure and ischemic heart disease: A review of epidemiological studies[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(9): 936-942.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20133

PM_{2.5} 浓度每增加 10 μg·m⁻³, 每日心血管疾病死亡率分别增加 0.36% (95% CI : 0.30%~0.43%) 和 0.55% (95% CI : 0.45%~0.66%) [6]。国内一项 meta 分析结果表明, PM_{2.5}、PM₁₀、PM_{10-2.5} 浓度每升高 10 μg·m⁻³, 人群缺血性心脏病 (ischemic heart disease, IHD) 死亡的合并效应值分别为 1.023 6 (95% CI : 1.018 4~1.028 8)、1.010 6 (95% CI : 1.007 5~1.013 7) 和 0.992 0 (95% CI : 0.966 9~1.017 8) [7]。在所有由心血管疾病导致的死亡中, IHD 和中风所占比例最大 [8]。自 1990 年以来我国 IHD 所引起的疾病负担显著增加, 成为仅次于中风的第二大危险因素 [9], IHD 已经成为威胁中国人口健康的主要疾病之一。

虽然杨颖等 [10] 已简要概述空气颗粒物与 IHD 流行病学研究进展及可能性机制, 但该综述局限于 2012 年前 PM 与 IHD 的部分流行病学研究, 缺乏充分的相关性证据; 进一步考虑到 PM 的粒径和地区差异对 IHD 存在影响, 本文将从不同粒径、不同地区两个层面概述 PM 与 IHD 的相关性研究进展; 由于不同环境因素 (温

度、湿度等) 下 PM 暴露对 IHD 可能有不同的影响, 本文也将对此方面研究进展进行总结。

1 不同粒径 PM 暴露与 IHD 关联的研究进展

流行病学研究显示, PM 暴露与 IHD 发病率及死亡率存在密切联系, 然而不同粒径的 PM 所造成的影响不尽相同。虽然 PM 暴露的影响取决于人体体质 (例如呼吸模式、速率和人的体格), 但 PM 粒径与健康风险效应直接相关。一般来说, PM 越小, 就会以更高的速率经过呼吸道, 其渗透的深度就越深。由于粒径 ≥ 10 μm 的 PM 组分会迅速沉降, 因此滞留在气管 (上喉) 或支气管中, 5~10 μm 的 PM 最有可能沉积在气管、支气管树中, 而 1~5 μm 的 PM 则沉积在发生气体交换的呼吸细支气管和肺泡中, 小于 1 μm 的 PM 的行为类似于气体分子, 会向下渗透到肺泡, 并且可以进一步转移到细胞组织和 / 或循环系统中, 所以不同粒径的 PM 造成的影响会有差异 [11]。本研究概述不同粒径 PM 与 IHD 相关性的研究进展, 详细数据见表 1。

表 1 不同粒径大气颗粒物暴露与缺血性心脏病关联的流行病学研究

Table 1 Epidemiological studies on the association between size-fractionated particulate matter exposure and ischemic heart disease

颗粒物	发表年份	作者	研究设计	国家 (时间)	研究人群	研究结果	研究结论
PM ₁₀	2014	Katsoulis 等 [12]	前瞻性研究	希腊 (1997—2011)	从希腊雅典 150 万居民中招募的 2572 名 21~82 岁成年人	PM ₁₀ 浓度每增加 10 μg·m ⁻³ , 女性和年轻受试者 IHD 风险比分别为 2.24 (95% CI : 0.89~5.64) 和 1.79 (95% CI : 0.85~3.78)	长期暴露于交通源污染的空气会影响心血管疾病和 IHD 的发病率, 特别是女性和年轻受试者
PM ₁₀	2016	Sohn 等 [13]	时间序列分析	韩国 (2005—2009)	韩国首尔所有 IHD 急诊就诊的 42310 人	在患有高血压或糖尿病或 ≥ 80 岁的男性受试者中, 当日暴露于 PM ₁₀ 的急诊就诊 RR 分别为 1.031 (95% CI : 1.009~1.054), 1.012 (95% CI : 0.988~1.037) 和 1.031 (95% CI : 1.011~1.052)	环境 PM ₁₀ 暴露与 IHD 的就诊密切相关, 尤其是患有高血压、糖尿病或者年龄 ≥ 80 岁的男性
PM ₁₀ 和 PM _{2.5}	2015	Devos 等 [14]	病例交叉研究	比利时 (2007—2012)	比利时布鲁塞尔大学医院 5 年内出院诊断为 IHD、心律失常和心衰的患者	PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 降低 10%, IHD 入院风险分别降低 2.44% (95% CI : 0.33%~4.50%) 和 2.34% (95% CI : 0.62%~4.03%)	IHD 和心律不齐的急诊入院数与入院前一周的 PM ₁₀ 、PM _{2.5} 和 NO ₂ 暴露显著相关
PM ₁₀ 和 PM _{2.5}	2019	Ljungman 等 [15]	队列研究	瑞典 (1990—2011)	来自瑞典哥德堡、斯德哥尔摩和于默奥的 7 个队列的共 117710 人	当地居民供暖局部排放的 PM _{2.5} 与 IHD 的发生之间存在关联, 有待进一步研究	不同的颗粒物成分与 IHD 或中风之间关联不一致, 低暴露水平导致了关联的缺乏
PM _{2.5}	2004	Pope 等 [16]	前瞻性研究	美国 (1979—1983, 1999—2000)	从美国 50 个州选取的 30 岁以上的 120 万成年人	PM _{2.5} 每升高 10 μg·m ⁻³ , IHD 死亡风险增加 1.18% (95% CI : 1.14%~1.23%)	长期 PM _{2.5} 暴露会增加 IHD 疾病死亡率
PM _{2.5}	2006	Pope 等 [17]	病例交叉研究	美国 (1994—2004)	美国犹他州盐湖城山间心脏合作研究队列中的接受心脏导管插入和进行冠状动脉造影的患者, 总计 26643 人	PM _{2.5} 每升高 10 μg·m ⁻³ , 急性冠状动脉综合征发病率增加 4.5% (95% CI : 1.1%~8.0%)	短期 PM _{2.5} 暴露导致急性冠状动脉事件, 特别是在患有基础冠状动脉疾病的患者中
PM _{2.5}	2015	Xie 等 [18]	时间序列分析	中国 (2010—2012)	中国北京总人口中由北京心血管疾病监测系统确定的 369469 例 IHD 发病病例和 53247 例 IHD 死亡病例	PM _{2.5} 每升高 10 μg·m ⁻³ , IHD 发病率和死亡率分别增加 0.27% (95% CI : 0.21%~0.33%) 和 0.25% (95% CI : 0.10%~0.40%)	北京地区 PM _{2.5} 浓度与 IHD 发病率和死亡率显著相关, 且呈非线性剂量-反应关系

[注] IHD : 缺血性心脏病。

1.1 PM₁₀ 暴露与 IHD

PM₁₀ 粒径较大, 在空气中停留时间较短, 易被

人体上呼吸道的纤毛和黏液阻隔、排出, 对人体健康危害较小。由于 PM₁₀ 监测技术要求低、数据完善, 因

此其与IHD的相关性研究开展时间较早。众多研究显示,PM₁₀与IHD存在密切的相关性。希腊一项前瞻性研究显示,长期暴露于交通源污染的空气会影响女性和年轻受试者IHD的发病率^[12]。同样,韩国一项研究表明,环境PM₁₀暴露与IHD的就诊密切相关,尤其是患有高血压、糖尿病或者年龄≥80岁的男性^[13]。比利时一项研究表明,PM₁₀浓度降低会降低IHD的相关风险^[14]。然而Ljungman等^[15]对瑞典的三座城市PM₁₀长期暴露的研究中没有观察到PM₁₀总体水平与IHD发生率之间的关联。这提示不同地区的PM暴露与IHD相关性存在差异,造成差异的原因可能与当地易感人群、PM暴露水平和理化性质相关,有待进一步研究。

1.2 PM_{2.5}暴露与IHD

PM_{2.5}粒径小于PM₁₀,它可以避开人体的防御机制,深入呼吸系统,进入支气管深处,穿越肺泡进入血液,导致对心血管系统产生更大的影响。目前PM_{2.5}与IHD的流行病学研究已经比较全面,众多证据表明PM_{2.5}暴露会增加IHD发病率和死亡率。例如Pope等^[16]早期一项研究分析发现美国长期PM_{2.5}暴露会增加IHD死亡率。之后2006年的美国人群流行病学调查研究发现短期PM_{2.5}暴露会增加急性IHD事件,特别是急性缺血性冠状动脉事件(不稳定性心绞痛和心肌梗死)^[17]。近期Xie等^[18]研究发现,中国北京地

区PM_{2.5}浓度与IHD发病率和死亡率相关,并且PM_{2.5}与IHD发病率和死亡率之间的剂量-反应关系是非线性的。综上所述,早期与近期研究结果都表明PM_{2.5}与IHD有明确的相关性。

1.3 PM₁暴露与IHD

PM₁粒径较小,进入人体循环系统所引发的健康风险更为显著。受各国空气质量监测标准和PM₁监测技术要求所限,PM₁相关数据十分缺少,阻碍了相关研究进展。尚未有明确的流行病学研究证明PM₁暴露与IHD之间的相关性,因此,需重点开展PM₁与IHD流行病学方面的调查研究。

2 国内外PM暴露与IHD的关联的研究进展

2.1 国外PM暴露与IHD的流行病学研究进展

不同地区PM来源广泛,理化性质存在差异,所以不同地区的PM与IHD相关性可能存在差异,并且PM暴露的短期效应和长期效应可能具有差异。国外对PM与IHD的相关研究主要集中在北美洲和亚洲国家,尤其美国对于PM长期和短期暴露与IHD之间的关系早在2003年和2006年就已经有了明确的结果^[16-17]。之后的相关研究集中在亚洲的大部分国家,而其他地区的国家相关研究比较缺乏。详细数据见表2。

表2 国外不同地区大气颗粒物暴露与缺血性心脏病的流行病学研究

Table 2 Epidemiological studies on particulate matter exposure and ischemic heart disease in different regions abroad

发表年份	作者	国家(时间)	暴露时间	研究结果	研究结论
2019	Leiser等 ^[19]	美国(1999—2009)	短期	在美国犹他州接受IHD治疗的75~84岁女性中,PM _{2.5} 暴露与死亡风险增加36%有关(P=0.01),并且与再入院率降低25%有关	急性环境空气污染暴露会增加心脏疾病的风险,暴露于PM _{2.5} 与死亡风险增加有关
2018	Zhang等 ^[20]	美国(2005—2016)	短期	PM _{2.5} 浓度四分位数间距增加与滞后4d和6d IHD入院率增加1.3%(95%CI:0.8%~1.7%)有关	纽约州PM _{2.5} 浓度的短期升高与IHD入院率增加有关
2015	Ostro等 ^[21]	美国(2001—2007)	长期	美国加州10万名女性教师中,PM _{2.5} 增加10μg·m ⁻³ ,IHD相关的风险比为1.19(95%CI:1.08~1.31),超细颗粒物浓度的四分位数间距增加969ng·m ⁻³ 时,IHD相关的风险比为1.10(95%CI:1.02~1.08)	IHD死亡率与细颗粒和超细颗粒种类及来源之间存在正相关性
2018	Han ^[22]	韩国(2006—2015)	长期	环境PM _{2.5} 暴露导致的过早死亡中,IHD仅次于中风	2015年PM _{2.5} 暴露导致11924例过早死亡。模拟PM _{2.5} 的年均值降至10μg·m ⁻³ ,约有8539例可以预防
2018	Faridi ^[23]	伊朗(2006—2015)	长期	长期暴露在环境PM _{2.5} 中导致的IHD死亡占19.8%~24.1%	长期暴露于环境PM _{2.5} 和O ₃ 很大程度上影响了伊朗德黑兰的死亡率,建议采取适当的可持续控制政策来保护公众健康
2020	Saini ^[24]	印度(2016)	长期	在PM _{2.5} 暴露导致的过早死亡中,IHD相关的过早死亡占58%	暴露于PM _{2.5} 所导致的过早死亡负担是由五种原因造成的,IHD是主要原因

[注] IHD:缺血性心脏病。

2.1.1 短期暴露 Leiser等^[19]评估了PM_{2.5}对1999—2009年美国犹他州19602名心血管事件后存活患者住院和死亡的影响,研究发现短期PM_{2.5}暴露与再入院率降低、死亡风险增加有关。Zhang等^[20]研究表明,

IHD的住院率增加与PM_{2.5}浓度的短期升高相关,并且入院率随着PM_{2.5}浓度的增加而增加,在心血管疾病和心肌梗死中也观察到了类似的趋势。这些研究表明PM暴露会影响心血管事件的入院和死亡,其中包括

了IHD。

2.1.2 长期暴露 Ostro等^[21]对2001—2007年美国加州10万名女性教师的研究显示,IHD死亡率与长期暴露于不同种类及来源的PM_{2.5}和超细颗粒物存在正相关性。Han等^[22]采用综合暴露-反应(integrated exposure-response, IER)模型评估韩国各省份和直辖市中环境PM_{2.5}造成的健康负担和时空趋势,结果显示2015年韩国共有11924例过早死亡归因于PM_{2.5}暴露,其中包含3303例IHD死亡,IHD死亡人数仅次于中风。Faridi等^[23]对伊朗首都德黑兰2006—2015年的PM_{2.5}暴露进行了健康影响分析,结果显示长期PM_{2.5}暴露导致了19.8%~24.1%的IHD死亡。Saini等^[24]对印度2016年29个百万级人口的省份和直辖市的研究结果显示,PM_{2.5}暴露导致过早死亡主要有五种原因(IHD、中风、慢性阻塞性肺疾病、下呼吸道感染和肺癌),而IHD是导致死亡的主要原因。

南美洲以及澳洲等地区的国家PM与心血管疾病相关研究十分充分,但是缺少PM与IHD相关性研究,其可能原因是南美洲以及澳洲等地区PM污染水平较低,而IHD与其他危险因素的相关性更强,从而导致

研究人员忽视了PM与IHD相关性的研究。

2.2 国内PM暴露与IHD的流行病学研究进展

国内对PM与IHD的相关研究主要集中在2013年之后一线城市的流行病学调查,一方面是PM_{2.5}及其健康危害性逐渐被人们了解,另一方面是中国PM_{2.5}相关标准的制定和监测数据的完善为流行病学研究提供了数据支持。总体来说,中国PM_{2.5}浓度与IHD发生发展密切相关。例如Song等^[25]对2014年1月—2016年12月中国367个城市共1382个国家空气质量监测站的PM_{2.5}浓度和相应地区的疾病死亡数据进行系统研究,发现在PM诱发的疾病中,IHD是除中风、急性呼吸道感染外死亡率最高的疾病;PM_{2.5}造成的死亡占IHD死亡总数的26.8%(95%CI:18.6%~41.3%)。2019年一项涉及我国2109万人、53个队列研究的汇总研究分析发现,PM_{2.5}暴露水平升高会增加IHD事件的风险^[26]。详细数据见表3。

2.2.1 短期暴露 Xu等^[27]研究发现2013—2014年间,上海市IHD住院与短期暴露于高水平PM_{2.5}和PM₁₀密切相关。Feng等^[28]评估了2013年北京每日PM₁₀浓度与心肺疾病入院率之间的关联,研究显示PM₁₀污染

表3 国内不同区域PM暴露与缺血性心脏病的流行病学研究

Table 3 Epidemiological studies on particulate exposure and ischemic heart disease in different regions of China

地区(时间)	作者	暴露时间	采样点	研究结果	研究结论
上海(2013—2014)	Xu等 ^[27]	短期	上海普陀、杨浦、黄浦、青浦、虹口、徐汇、静安和浦东新区	PM _{2.5} 和PM ₁₀ 每增加10μg·m ⁻³ ,IHD住院率分别增加0.25%(95%CI:0.10%~0.39%)和0.57%(95%CI:0.46%~0.68%)	IHD的住院与短期暴露于高水平的PM ₁₀ 和PM _{2.5} 密切相关
北京(2013)	Feng等 ^[28]	短期	北京东城区、西城区、朝阳、海淀、丰台和石景山中17个站点	PM ₁₀ 暴露后4d内IHD平均入院率增加0.36%(95%CI:0.11%~0.61%),慢性阻塞性肺疾病和心力衰竭入院率的变化分别在低温和高温天气更明显	PM ₁₀ 污染与心肺疾病的急诊住院密切相关;PM ₁₀ 对慢性阻塞性肺疾病和心力衰竭急诊住院的影响受季节性温度决定
北京(2013)	Xu等 ^[29]	短期	北京市市区17个环境空气质量监测站	PM _{2.5} 每升高10μg·m ⁻³ ,当日IHD急诊就诊率升高0.56%(95%CI:0.16%~0.95%),滞后3d的心血管急诊就诊率增加0.14%(95%CI:0.01%~0.27%)	急性暴露于PM _{2.5} 空气污染可能会增加心血管疾病急诊就诊率和特定病因的风险
北京(2010—2012)	Xie等 ^[18]	短期	北京市朝阳区美国大使馆空气质量监测站	PM _{2.5} 每升高10μg·m ⁻³ ,IHD发病率增加0.27%(95%CI:0.21%~0.33%),同一天死亡率增加0.25%(95%CI:0.10%~0.40%)	PM _{2.5} 的浓度与IHD的发病率和死亡率相关
广州(2013—2015)	Lin等 ^[30]	短期	广州的番禺中学、广东商学院、广雅中学、花都师范等11个监测站点	每小时PM _{2.5} 每增加10μg·m ⁻³ ,延迟3d的IHD死亡率增加1.02%(95%CI:0.30%~1.74%)	环境PM _{2.5} 对心血管的影响不仅与几天内的PM _{2.5} 平均浓度有关,而且还与每小时空气中PM _{2.5} 浓度达到峰值的时间有关
兰州(2014—2017)	Wu等 ^[31]	短期	兰州4个环境监测站	日平均PM _{10-2.5} 每增加10μg·m ⁻³ ,当日心血管疾病和IHD死亡率分别增加0.47%(95%CI:0.06%~0.88%)和0.85%(95%CI:0.18%~1.52%),PM ₁₀ 每增加10μg·m ⁻³ ,当日IHD死亡率增加0.53%(95%CI:0.01%~1.05%)	兰州大气PM(PM _{2.5} 、PM _{10-2.5} 和PM ₁₀)浓度升高与心血管疾病的死亡率增加相关
南京(2014—2017)	Nie等 ^[32]	长期	南京迈皋桥、草场门、山西路、中华门、瑞金路、玄武湖、浦口、奥体中心和仙林大学城9个国家空气质量监测点	2014年,PM _{2.5} 导致IHD过早死亡的归因分值为30%(95%CI:21%~52%),2015年随着PM _{2.5} 的降低,归因分值下降至28%(95%CI:19%~44%),当PM _{2.5} 小于15μg·m ⁻³ 时,IHD代替中风成为主要的死亡原因	2014年和2015年由PM _{2.5} 引起的总过早死亡中,中风是主要的死亡原因,其次是IHD
浙江(2015)	Chen等 ^[33]	长期	杭州、绍兴和泰州13个地区监测点	由于PM _{2.5} 暴露,导致IHD的人群归因分值为25.82%	绍兴(工业城市)居民的健康风险最高,而台州(山区和轻工业城市)居民的健康风险最低

[注] IHD:缺血性心脏病。

与心肺疾病的急诊住院密切相关。Xu等^[29]的研究同样发现急性暴露于PM_{2.5}空气污染会增加心血管疾病急诊就诊率。Xie等^[18]研究发现,PM_{2.5}的浓度与IHD的发病率和死亡率相关,PM_{2.5}每升高10 μg·m⁻³,IHD发病率增加0.27% (95% CI: 0.21%~0.33%),同一天死亡率增加0.25% (95% CI: 0.10%~0.40%)。Lin等^[30]发现广州大气PM_{2.5}对心血管的影响不仅与几天内的平均浓度有关,而且还与每小时内空气中PM_{2.5}浓度达到峰值的时间有关。Wu等^[31]研究发现,兰州市大气PM (PM_{2.5}、PM_{10-2.5}和PM₁₀)浓度升高与心血管疾病的死亡率增加相关。

2.2.2 长期暴露 Nie等^[32]采用IER模型,评估南京市PM_{2.5}暴露所导致的生命损失 (years of life lost, YLL) 和PM_{2.5}导致相关疾病的过早死亡归因分值 (attributable fractions, AF)。结果显示,2014年PM_{2.5}导致IHD过早死亡的AF为30% (95% CI: 21%~52%),2015年由于PM_{2.5}水平下降,AF降至28% (95% CI: 19%~44%)。2014年每1000人IHD的YLL为3.16岁,2015年为2.82岁。当PM_{2.5}小于15 μg·m⁻³时,IHD取代中风成为主要的死亡原因。Chen等^[33]通过IER模型分析得出,浙江省工业城市的居民健康风险更高,PM_{2.5}暴露导致IHD的人群归因分值 (population attributable fractions, PAFs) 为25.82%。

综上所述,短期PM暴露与IHD的发病、入院和死亡存在关联,并且受PM浓度变化的影响。同时,PM长期暴露会增加人群的健康风险,导致相关疾病包括IHD的过早死亡。

3 不同环境因素条件下PM暴露与IHD关联的研究进展

PM₁₀和PM_{2.5}两种粒径颗粒物以及北美洲和亚洲地区国家PM暴露与IHD的发病和死亡率的相关性已经很明显,但是不同环境因素条件下,比如温度、季节、湿度变化,对PM与IHD关系的影响尚未有十分明确的结论。

3.1 温度

Li等^[34]使用时间序列分析来探讨温度对PM₁₀和IHD的死亡率之间关联的调节作用,结果表明,2007—2009年,高温天气PM₁₀浓度上升对IHD死亡率的影响要强于低温天气。在分别以14.65°C和20°C为高低温分界线时,高温下PM₁₀浓度每升高10 μg·m⁻³死亡率分别增加为1.08% (95% CI: 0.61%~1.55%) 和1.20% (95%

CI: 0.63%~1.78%),而在低温下的分析结果均无统计学意义。同样,Xu等^[29]的研究发现,PM_{2.5}暴露的环境温度会影响IHD的急诊就诊率,高温(>11.01°C)时PM_{2.5}对IHD急诊就诊率的影响高于低温(≤11.01°C)时PM_{2.5}对IHD急诊就诊率的影响。综上所述可以推测,温度会影响PM与IHD的相关性,高温条件下PM与IHD的相关性更强。

3.2 湿度

Qiu等^[35]使用Poisson广义线性模型对1998—2007年香港的平均温度、相对湿度和每日IHD入院率进行了分析,以评估随季节和相对湿度变化的PM暴露对IHD急诊入院的影响。结果显示在凉爽(11—4月)且湿度较低(≤80%)的季节,PM₁₀每增加10 μg·m⁻³,滞后3d的IHD入院率增加1.82% (95% CI: 1.24%~2.40%)。目前尚未有其他研究分析湿度对PM与IHD相关性的影响,推测湿度也会影响PM与IHD相关性,但仍需要进一步的研究分析。

3.3 季节

季节因素对PM与IHD的影响涉及许多方面,例如温度与湿度,而温度与湿度又可能对其有不同的效应,因而造成结果复杂。在众多PM与IHD的研究中,往往通过不同的方法排除季节因素的影响,因而单独分析其对PM和IHD关系的影响的研究十分缺少。

4 总结和展望

国内外众多流行病学研究已明确PM与IHD的相关性,PM暴露会增加人群IHD的发病和死亡风险。在不同粒径中,PM_{2.5}与IHD的研究资料最充分,PM₁₀由于粒径大,造成的IHD危害相对小,相关研究资料稍显不足,而PM₁受监测技术的影响,缺乏相关研究。除此之外,不同地区的PM与IHD研究结果显示,PM暴露与IHD可能存在相对性的差异,其可能原因是不同地区人群的身体素质以及易感性差异,亚洲和北美洲地区国家的研究资料较为充分,而其他地区国家的相关研究较为缺乏。此外,不同理化因素条件下的PM与IHD的相关性研究也相对缺乏。因而,仍需开展进一步的研究工作,分析不同地区易感人群,不同理化因素以及PM₁与IHD之间的相关性。关于相关毒性机制研究,虽然文献研究表明PM影响IHD的可能性机制主要涉及血管功能、促进血栓形成、刺激炎症反应和氧化应激^[10, 36],但尚未有明确的直接性研究阐明PM影响IHD的作用途径以及作用机制。空气污染

既有短期急性的健康效应,又有长期慢性的危害,而两者一般具有不同的生物学机制,前者更多为促进疾病发展的作用,后者可能有更多的病因学关联。因此,PM影响IHD的毒性分子机制仍有待从多方面继续深入研究。

参考文献

- [1] BROOK RD, RAJAGOPALAN S, POPE CA, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease : an update to the scientific statement from the American heart association [J]. *Circulation*, 2010, 121 (21) : 2331-2378.
- [2] JUDA-REZLER K, REIZER M, OUDINET J P. Determination and analysis of PM₁₀ source apportionment during episodes of air pollution in central Eastern European urban areas : the case of wintertime 2006 [J]. *Atmos Environ*, 2011, 45 (36) : 6557-6566.
- [3] SRIMURUGANANDAM B, NAGENDRA S M. Source characterization of PM₁₀ and PM_{2.5} mass using a chemical mass balance model at urban roadside [J]. *Sci Total Environ*, 2012, 433 : 8-19.
- [4] 中华人民共和国生态环境部. 2018年中国生态环境状况公报 [EB/OL]. [2020-03-30]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/>.
- [5] SIMKHOVICH B Z, KLEINMAN M T, KLONER R A, et al. Air pollution and cardiovascular injury : Epidemiology, toxicology, and mechanisms [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2008, 52 (9) : 719-726.
- [6] LIU C, CHEN R, SERA F, et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities [J]. *N Engl J Med*, 2019, 381 (8) : 705-715.
- [7] 李成橙, 李亚伟, 路凤. 大气颗粒物PM_{2.5}和PM₁₀暴露与人群缺血性心脏病死亡关系的荟萃分析 [J]. *中国心血管杂志*, 2019, 24 (2) : 166-172.
- [8] ROTH GA, ABATE D, ABATE KH, et al. Global, regional, and national age-sex-specific mortality for 282 causes of death in 195 countries and territories, 1980-2017 : a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 [J]. *Lancet*, 2018, 392 (10159) : 1736-1788.
- [9] ZHANG G, YU C, ZHOU M, et al. Burden of ischaemic heart disease and attributable risk factors in China from 1990 to 2015 : findings from the global burden of disease 2015 study [J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2018, 18 (1) : 18.
- [10] 杨颖, 程龙献. 空气颗粒物致缺血性心脏病的研究进展 [J]. *临床心血管病杂志*, 2012, 28 (1) : 11-14.
- [11] KIM KH, KABIR E, KABIR S. A review on the human health impact of airborne particulate matter [J]. *Environ Int*, 2015, 74 : 136-143.
- [12] KATSOUKLIS M, DIMAKOPOULOU K, PEDELI X, et al. Long-term exposure to traffic-related air pollution and cardiovascular health in a Greek cohort study [J]. *Sci Total Environ*, 2014, 490 : 934-940.
- [13] SOHN J, YOU SC, CHO J, et al. Susceptibility to ambient particulate matter on emergency care utilization for ischemic heart disease in Seoul, Korea [J]. *Environ Sci Pollut Res*, 2016, 23 (19) : 19432-19439.
- [14] DEVOS S, COX B, DHONDT S, et al. Cost saving potential in cardiovascular hospital costs due to reduction in air pollution [J]. *Sci Total Environ*, 2015, 527-528 : 413-419.
- [15] LJUNGMAN P L, ANDERSSON N, STOCKFELT L, et al. Long-term exposure to particulate air pollution, black carbon, and their source components in relation to ischemic heart disease and stroke [J]. *Environ Health Perspect*, 2019, 127 (10) : 107012.
- [16] POPE III CA, BURNETT RT, THURSTON G D, et al. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease [J]. *Circulation*, 2004, 109 (1) : 71-77.
- [17] POPE III CA, MUHLESTEIN JB, MAY HT, et al. Ischemic heart disease events triggered by short-term exposure to fine particulate air pollution [J]. *Circulation*, 2006, 114 (23) : 2443-2448.
- [18] XIE W, LI G, ZHAO D, et al. Relationship between fine particulate air pollution and ischaemic heart disease morbidity and mortality [J]. *Heart*, 2015, 101 (4) : 257-263.
- [19] LEISER CL, SMITH KR, VANDERSLICE JA, et al. Evaluation of the sex-and-age-specific effects of PM_{2.5} on hospital readmission in the presence of the competing risk of mortality in the medicare population of Utah 1999-2009 [J]. *J Clin Med*, 2019, 8 (12) : 2114.
- [20] ZHANG W, LIN S, HOPKE P K, et al. Triggering of cardiovascular hospital admissions by fine particle concentrations in New York state : before, during, and after implementation of multiple environmental policies and

- a recession [J]. *Environ Pollut*, 2018, 242 : 1404-1416.
- [21] OSTRO B, HU J, GOLDBERG D, et al. Associations of mortality with long-term exposures to fine and ultrafine particles, species and sources : results from the California teachers study cohort [J]. *Environ Health Perspect*, 2015, 123 (6) : 549-556.
- [22] HAN C, KIM S, LIM YH, et al. Spatial and temporal trends of number of deaths attributable to ambient PM_{2.5} in the Korea [J]. *Korean Med Sci*, 2018, 33 (30) : e193.
- [23] FARIDI S, SHAMSIPOUR M, KRZYZANOWSKI M, et al. Long-term trends and health impact of PM_{2.5} and O₃ in Tehran, Iran, 2006-2015 [J]. *Environ Int*, 2018, 114 : 37-49.
- [24] SAINI P, SHARMA M. Cause and age-specific premature mortality attributable to PM_{2.5} exposure : an analysis for million-plus Indian cities [J]. *Sci Total Environ*, 2020, 710 : 135230.
- [25] SONG C, HE J, WU L, et al. Health burden attributable to ambient PM_{2.5} in China [J]. *Environ Pollut*, 2017, 223 : 575-586.
- [26] YANG H, LI S, SUN L, et al. Smog and risk of overall and type-specific cardiovascular diseases : a pooled analysis of 53 cohort studies with 21.09 million participants [J]. *Environ Res*, 2019, 172 : 375-383.
- [27] XU A, MU Z, JIANG B, et al. Acute effects of particulate air pollution on ischemic heart disease hospitalizations in Shanghai, China [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, 14 (2) : 168.
- [28] FENG W, LI H, WANG S, et al. Short-term PM₁₀ and emergency department admissions for selective cardiovascular and respiratory diseases in Beijing, China [J]. *Sci Total Environ*, 2019, 657 : 213-221.
- [29] XU Q, WANG S, GUO Y, et al. Acute exposure to fine particulate matter and cardiovascular hospital emergency room visits in Beijing, China [J]. *Environ Pollut*, 2017, 220 : 317-327.
- [30] LIN H, LIU T, XIAO J, et al. Hourly peak PM_{2.5} concentration associated with increased cardiovascular mortality in Guangzhou, China [J]. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2017, 27 (3) : 333-338.
- [31] WU T, MA Y, WU X, et al. Association between particulate matter air pollution and cardiovascular disease mortality in Lanzhou, China [J]. *Environ Sci Pollut Res*, 2019, 26 (15) : 15262-15272.
- [32] NIE D, CHEN M, WU Y, et al. Characterization of fine particulate matter and associated health burden in Nanjing [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, 15 (4) : 602.
- [33] CHEN Y, ZANG L, DU W, et al. Ambient air pollution of particles and gas pollutants, and the predicted health risks from long-term exposure to PM_{2.5} in Zhejiang province, China [J]. *Environ Sci Pollut Res*, 2018, 25 (24) : 23833-23844.
- [34] LI G, ZHOU M, CAI Y, et al. Does temperature enhance acute mortality effects of ambient particle pollution in Tianjin City, China [J]. *Sci Total Environ*, 2011, 409 (10) : 1811-1817.
- [35] QIU H, YU ITS, WANG X, et al. Cool and dry weather enhances the effects of air pollution on emergency IHD hospital admissions [J]. *Int J Cardiol*, 2013, 168 (1) : 500-505.
- [36] ROBERTSON S, MILLER MR. Ambient air pollution and thrombosis [J]. *Part Fibre Toxicol*, 2018, 15 (1) : 1.

(英文编辑：汪源；责任编辑：陈姣)