



·荟萃分析·

大气颗粒物 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 暴露与人群缺血性心脏病死亡关系的荟萃分析

李成橙 李亚伟 路凤

100021 北京, 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所(李成橙、李亚伟);

100034 北京市卫生计生委信息中心 北京市卫生计生委政策研究中心(路凤)

通信作者:路凤, 电子信箱:lufeng@bjchfp.gov.cn

DOI:10.3969/j.issn.1007-5410.2019.02.017

【摘要】目的 定量评估大气颗粒物 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 暴露与人群缺血性心脏病死亡之间的关系。

方法 通过计算机联机检索国内外文献数据库,系统收集公开发表的相关文献。使用 Stata 14.0 软件进行荟萃分析,根据异质性检验的结果选择不同的效应模型进行统计量的合并,采用敏感性分析和 Egger's 检验对结果的稳定性及发表偏倚进行检验。 **结果** 最终共纳入 56 篇文献。大气 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 $PM_{10-2.5}$ 浓度每升高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 人群缺血性心脏病死亡的合并效应值分别为 1.0236 (95% CI: 1.0184 ~ 1.0288)、1.0106 (95% CI: 1.0075 ~ 1.0137) 和 0.9920 (95% CI: 0.9669 ~ 1.0178)。 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 暴露对缺血性心脏病死亡的急性影响的合并效应值 [1.0082 (95% CI: 1.0057 ~ 1.0107); 1.0088 (95% CI: 1.0064 ~ 1.0113)] 低于慢性影响的合并效应值 [1.2120 (95% CI: 1.1470 ~ 1.2806); 1.0831 (95% CI: 0.9944 ~ 1.1797)]; 亚洲人群 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 暴露对缺血性心脏病死亡影响的合并效应值 [1.0052 (95% CI: 1.0031 ~ 1.0074); 1.0079 (95% CI: 1.0049 ~ 1.0109)] 低于欧美人群的合并效应值 [1.1010 (95% CI: 1.0756 ~ 1.1269); 1.0186 (95% CI: 1.0083 ~ 1.0290)]。 **结论** 大气颗粒物 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度的升高会导致人群缺血性心脏病死亡风险的增加。

【关键词】 大气; 颗粒物; 心肌缺血; 死亡率; Meta 分析

基金项目: 大气重污染成因与治理攻关项目 (DQGG0401)

Meta-analysis of the relationship between atmospheric $PM_{2.5}$ and PM_{10} exposure and ischemic heart disease mortality

Li Chengcheng, Li Yawei, Lu Feng
National Institute of Environmental Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100021, China (Li CC, Li YW); Beijing Municipal Commission of Health and Family Planning Information Center, Beijing Municipal Commission of Health and Family Planning Policy Research Center, Beijing 100034, China (Lu F)

Corresponding author: Lu Feng, Email: lufeng@bjchfp.gov.cn

【Abstract】 Objective To quantitatively evaluate the relationship between atmospheric particulate matter $PM_{2.5}$, PM_{10} exposure and ischemic heart disease (IHD) mortality. **Methods** Domestic and international database were retrieved online, and the epidemiologic studies about the association between exposure to particulate matter and IHD mortality were systematically collected. Meta-analysis was performed using Stata 14.0 software. Risk estimates were combined by different effect models according to the result of heterogeneity test. Sensitivity analysis and publication bias analysis were performed. **Results** A total of 56 literatures were included. With $PM_{2.5}$, PM_{10} and $PM_{10-2.5}$ increasing per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, the combined effect values of IHD mortality were 1.0236 (95% CI: 1.0184-1.0288), 1.0106 (95% CI: 1.0075-1.0137) and 0.9920 (95% CI: 0.9669-1.0178), respectively. The combined effect values of acute effect of $PM_{2.5}$ and PM_{10} on IHD mortality [1.0082 (95% CI: 1.0057-1.0107); 1.0088 (95% CI: 1.0064-1.0113)] were less than the chronic effect [1.2120 (95% CI: 1.1470-1.2806); 1.0831 (95% CI: 0.9944-1.1797)]. Compared to the European and American people [1.1010 (95% CI: 1.0756-1.1269); 1.0186 (95% CI: 1.0083-1.0290)], the combined effect values of exposure to $PM_{2.5}$ and PM_{10} on IHD mortality in Asian population [1.0052 (95% CI: 1.0031-1.0074); 1.0079 (95% CI: 1.0049-1.0109)] were much lower. **Conclusions** Exposure of an increase in the concentration of atmospheric particulate matter $PM_{2.5}$ and PM_{10} may increase the risk of IHD mortality.



[Key words] Atmosphere; Particulate matter; Myocardial ischemia; Mortality; Meta-analysis

Funding program: National Research Program for Key Issues in Air Pollution Control (DQGG0401)

全球疾病负担研究报告指出,全球因缺血性心脏病死亡的人数从 2006 年的 796 万上升到 2016 年的 948 万,是心血管疾病总死亡数增加的主要原因^[1]。近年来,越来越多的研究开始关注大气颗粒物污染与缺血性心脏病之间的关系^[2-3]。一些队列研究证据也提示,大气颗粒物污染与缺血性心脏病之间的暴露-反应关系强度较其与总心血管疾病或心肺疾病的更高^[3-4]。本研究主要就国内外不同粒径大气颗粒物对缺血性心脏病影响的文献资料进行回顾和系统评价,定量评估大气颗粒物 PM_{2.5}、PM₁₀ 短期和长期暴露与缺血性心脏病死亡的关系。

1 资料与方法

1.1 资料来源

通过计算机联机检索国内外文献数据库,以“particulate matter/PM₁₀/PM_{2.5}/PM_{10-2.5}”、“ischemic heart disease/coronary heart disease/coronary artery disease/atherosclerotic heart disease/atherosclerotic cardiovascular disease”为关键词检索 PubMed、Embase、Web of Science 等国外数据库;以“颗粒物/PM₁₀/PM_{2.5}/PM_{10-2.5}”、“缺血性心脏病/冠心病/冠状动脉硬化性心脏病”为关键词检索中国学术期刊全文数据库(CNKI)、万方数据知识服务平台全文数据库、维普中文科技期刊全文数据库(VIP)、《中国生物医学文献数据库》(CMBDISC)等国内数据库,并通过相关文献和参考文献追溯等途径,收集国内外公开发表的关于大气颗粒物暴露与缺血性心脏病死亡之间关系的文献。末次检索更新时间为 2018 年 4 月 15 日。

1.2 文献纳入与剔除标准

1.2.1 文献纳入标准 (1)1990 年 1 月至 2017 年 12 月公开发表的关于大气颗粒物 (PM₁₀、PM_{2.5}、PM_{10-2.5}) 暴露对缺血性心脏病死亡影响的流行病学研究,语言为中文或英文;(2)缺血性心脏病死因归类参照国际疾病分类编码 ICD-9 中 410~414 或 ICD-10 中 I20-I25;(3)研究结果以定量的暴露-反应关系表达,即研究数据可直接表示或间接转化为大气颗粒物每升高 10 μg/m³,人群缺血性心脏病死亡发生风险增加的百分比或危险度及其 95% CI;(4)研究目标人群为健康人群;(5)文献报道的数据

为独立研究结果,若检索到两篇以上针对相同时间、地点、研究对象和数据来源的相似文献,其研究结果不一致的,以最新发表的文献为准。

1.2.2 剔除标准 (1)原始文献未涉及大气颗粒物与缺血性心脏病死亡之间的关系;(2)综述、评论等非原创性研究;(3)动物实验或其他实验性研究;(4)职业或室内颗粒物暴露研究。

1.3 资料提取

由两位研究者独立对数据进行摘录,争议通过双方讨论解决。提取内容包括研究题目、作者信息、发表年份、研究时间、研究地点、研究方法、样本量、颗粒物类型以及暴露-反应关系定量估计值(包括 β 值、OR 值、ER 值、RR 值及 HR 值)及其 95% CI 等。对于单污染物模型和调整了 SO₂、NO₂、O₃ 等的多污染物模型同时存在的研究,本研究统一采用单污染物模型的研究结果;若一篇文献中同时报道了两个或两个以上滞后期的结果,则按照 Atkinson 等^[5]的滞后后期选择顺序进行研究结果的提取。

1.4 文献质量评价

采用 Newcastle-Ottawa Scale 评分对纳入文献的质量进行评价。病例交叉研究主要是基于病例对照的选择、病例对照的可比性以及暴露因素的确定进行评价。队列研究和时间序列研究主要是基于队列的选择、队列间的可比性以及结局的测量进行评价。量表满分为 9 分。

1.5 统计学方法

采用 Stata 14.0 软件进行荟萃分析。所纳入文献的研究结果均转化为大气颗粒物浓度每升高 10 μg/m³,人群缺血性心脏病死亡的危险度。采用 I² 统计量对纳入文献进行异质性检验,若 I² < 50% (P > 0.10),则认为研究间具有同质性,采用固定效应模型进行统计量的合并;若 I² ≥ 50% (P ≤ 0.10),则认为研究间存在异质性,采用随机效应模型进行统计量的合并。采用敏感性分析评估分析结果的稳定性;采用 Egger 线性回归法进行发表偏倚检验,若存在发表偏倚则采用剪补法对偏倚进行校正。

2 结果

2.1 纳入文献基本情况

共纳入文献 56 篇,中文文献 8 篇,英文文献 48



篇;分别来自中国、日本、美国、加拿大及英国、奥地利、意大利等 14 个欧洲国家。纳入文献发表时间为 1996 年 10 月至 2017 年 12 月,其中 26 篇为队列研究,30 篇为时间序列和病例交叉研究;累计事件发生数达 182 万余人。纳入文献的 NOS 评分均在 7 分以上,文献质量较好。各文献基本情况见表 1。

2.2 大气颗粒物暴露与缺血性心脏病死亡的关系

PM_{2.5} 与 PM₁₀ 纳入文献的各研究间存在异质性, I² 统计量分别为 92.8% (P < 0.01) 与 85.4% (P < 0.01)。采用随机效应模型进行估计,合并效应值分别为 1.0236 (95% CI: 1.0184 ~ 1.0288) 与 1.0106 (95% CI: 1.0075 ~ 1.0137); PM_{10-2.5} 纳入文献的各研究间具有同质性 (I² = 0, P > 0.01), 采用固定效应

模型进行估计,合并后的效应值为 0.9920 (95% CI: 0.9669 ~ 1.0178)。

2.3 亚组分析

2.3.1 研究方法 将纳入文献按研究设计不同分为队列研究、时间序列研究与病例交叉研究两个亚组,分析 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 暴露对缺血性心脏病死亡的慢性与急性影响。结果显示,PM_{2.5} 急性影响的合并效应值为 1.0082 (95% CI: 1.0057 ~ 1.0107), 低于其慢性影响的合并效应值 1.2120 (95% CI: 1.1470 ~ 1.2806); PM₁₀ 急性影响的合并效应值亦低于其慢性影响的效应值,分别为 1.0088 (95% CI: 1.0064 ~ 1.0113) 和 1.0831 (95% CI: 0.9944 ~ 1.1797)。

表 1 纳入文献基本情况

纳入文献	第一作者	发表年份	研究时间	研究地点	研究方法	样本量 ^a	影响 ^b	NOS 评分
PM_{2.5}								
[6]	Badaloni C	2017	2001—2010	意大利罗马	队列研究	22 234	慢性	8
[7]	Pinault LL	2017	2001—2011	加拿大	队列研究	40 400	慢性	8
[8]	Chen R	2017	2013—2015	中国 272 个城市	时间序列	3 285	急性	8
[9]	周慧霞	2017	2013—2016	中国北京	时间序列	3 964	急性	7
[10]	梁锐明	2017	2010—2011	中国	队列研究	416	慢性	9
[11]	Dabass A	2016	1999—2011	美国宾尼法尼亚州	病例交叉	34 945	急性	8
[12]	Luo K	2016	2008—2011	中国北京	病例交叉	65 465	急性	7
[13]	Lin H	2016	2013—2015	中国广州	时间序列	19 371	急性	8
[14]	Thurston GD	2016	1982—2004	美国 100 个大都市圈	队列研究	34 408	慢性	8
[15]	王临池	2015	2010—2013	中国苏州	时间序列	8 197	急性	8
[16]	Dai J	2015	2006—2011	中国上海	时间序列	18 202	急性	7
[17]	Villeneuve PJ	2015	1980—2005	加拿大	队列研究	903	慢性	8
[18]	Kim SY	2015	2003—2007	美国丹佛	时间序列	2 922	急性	8
[19]	Ostro B	2015	2001—2007	美国加利福尼亚州	队列研究	1 085	慢性	9
[2]	Xie W	2015	2010—2012	中国北京	时间序列	53 247	急性	8
[20]	Tam WWS	2015	2001—2010	中国香港	时间序列	29 573	急性	7
[21]	Wong CM	2015	1998—2001	中国香港	队列研究	1 810	慢性	9
[22]	Beelen R	2014	1990	欧洲	队列研究	4 992	慢性	8
[23]	Milojevic A	2014	2003—2008	英国英格兰和威尔士	病例交叉	73 748	急性	8
[24]	Jerrett M	2013	1982—2000	美国加利福尼亚州	队列研究	5 450	慢性	7
[25]	Carey IM	2013	2003—2007	英国	队列研究	8 168	慢性	9
[26]	Cesaroni G	2013	2001—2010	意大利罗马	队列研究	22 562	慢性/急性	9
[27]	Neuberger M	2013	2000—2007	奥地利林茨	病例交叉	—	急性	7
[27]	Neuberger M	2013	2000—2004	奥地利维也纳	时间序列	20 287	急性	7
[28]	Crouse DL	2012	1991—2001	加拿大	队列研究	43 400	慢性	8
[29]	Lipsett MJ	2011	1999—2005	美国加利福尼亚州	队列研究	773	慢性	8
[30]	Yorifuji T	2011	2003—2008	日本东京	时间序列	34 116	急性	7
[31]	Puett RC	2011	1989—2003	美国 13 个州	队列研究	746	慢性	9
[32]	Gan WQ	2011	1994—1998	加拿大温哥华	队列研究	3 104	慢性	9
[33]	Ostro B	2010	2002—2007	美国加利福尼亚州	队列研究	474	慢性	9
[34]	Puett RC	2009	1992—2002	美国 13 个州	队列研究	379	慢性	9
[3]	Krewski D	2009	1999—2000	美国	队列研究	—	慢性	7
[35]	Halonon JI	2009	1998—2004	芬兰 4 个城市	时间序列	9 441	急性	7
[36]	Miller KA	2007	1994—1998	美国 36 个大都市圈	队列研究	80	慢性	8
[37]	Ostro B	2006	1999—2002	美国加利福尼亚州	时间序列	135 143	急性	8
[38]	Chen LH	2005	1977—2000	美国加利福尼亚州	队列研究	92	慢性	9
[38]	Chen LH	2005	1977—2000	美国加利福尼亚州	队列研究	53	慢性	9



续表 1

纳入文献	第一作者	发表年份	研究时间	研究地点	研究方法	样本量 ^a	影响 ^b	NOS 评分
PM_{2.5}								
[39]	Jerrett M	2005	1982—2000	美国洛杉矶	队列研究	1 462	慢性	8
[40]	Pope CA	2004	1979—2000	美国	队列研究	—	慢性	7
[41]	Goldberg MS	2001	1984—1993	加拿大魁北克省	时间序列	29 209	急性	8
[42]	Goldberg MS	2001	1984—1993	加拿大蒙特利尔	时间序列	34 313	急性	8
[43]	Schwartz J	1996	1976—1987	美国 6 个城市	时间序列	121 229	急性	8
PM₁₀								
[6]	Badaloni C	2017	2001—2010	意大利罗马	队列研究	22 234	慢性	8
[44]	Li H	2015	1996—2008	中国 8 个城市	时间序列	130 000	急性	8
[16]	Dai J	2015	2006—2011	中国上海	时间序列	18 202	急性	7
[45]	Liu Y	2015	2006—2009	中国武汉	病例交叉	2 519	急性	8
[20]	Tam WWS	2015	2001—2010	中国香港	时间序列	29 573	急性	7
[46]	路凤	2015	2009—2013	中国南京	病例交叉	18 260	急性	8
[15]	王临池	2015	2010—2013	中国苏州	时间序列	8 197	急性	8
[47]	张云权	2015	2002—2010	中国武汉	时间序列	4 078	急性	7
[48]	Xu M	2014	2008—2009	中国北京	时间序列	26 653	急性	7
[22]	Beelen R	2014	1990s	欧洲	队列研究	4 992	慢性	8
[5]	Zhang LW	2014	1998—2009	中国 4 个城市	队列研究	162	急性	8
[23]	Milojevic A	2014	2003—2008	英国英格兰和威尔士	病例交叉	306 554	急性	8
[49]	李林	2014	2008—2011	中国天津	时间序列	14 600	急性	8
[25]	Carey IM	2013	2003—2007	英国	队列研究	8 168	慢性	9
[50]	Nishiwaki Y	2013	1990—2008	日本	队列研究	—	慢性	9
[51]	王德征	2013	2001—2009	中国天津	时间序列	102 918	急性	8
[52]	Li GX	2013	2006—2009	中国天津	时间序列	33 749	急性	7
[27]	Neuberger M	2013	1990—2005	奥地利格拉茨	时间序列	—	急性	7
[27]	Neuberger M	2013	2000—2007	奥地利林茨	病例交叉	—	急性	7
[27]	Neuberger M	2013	2000—2004	奥地利维也纳	时间序列	20 287	急性	7
[53]	Ueda K	2012	1985—2004	日本	队列研究	116	慢性	8
[29]	Lipsett MJ	2011	1996—2005	美国加利福尼亚州	队列研究	843	慢性	8
[31]	Puett RC	2011	1989—2003	美国 13 个州	队列研究	746	慢性	9
[54]	Revich B	2010	2003—2005	俄罗斯莫斯科	时间序列	115 989	急性	8
[55]	Puett RC	2008	1992—2002	美国 13 个州	队列研究	494	慢性	9
[56]	张晓平	2007	2003—2004	中国太原	病例交叉	—	急性	7
[57]	Forastiere F	2005	1998—2000	意大利罗马	病例交叉	5 144	急性	8
[38]	Chen LH	2005	1977—2000	美国加利福尼亚州	队列研究	92	慢性	9
[38]	Chen LH	2005	1977—2000	美国加利福尼亚州	队列研究	53	慢性/急性	9
[58]	Wong TW	2002	1995—1998	中国香港	时间序列	13 140	急性	8
[42]	Goldberg MS	2001	1984—1993	加拿大蒙特利尔	时间序列	34 313	急性	8
PM_{10-2.5}								
[22]	Beelen R	2014	1990s	欧洲	队列研究	4 992	8	
[31]	Puett RC	2011	1989—2003	美国 13 个州	队列研究	746	9	
[34]	Puett RC	2009	1992—2002	美国 13 个州	队列研究	379	9	
[35]	Halonon JI	2009	1998—2004	芬兰 4 个城市	时间序列	9 441	7	
[38]	Chen LH	2005	1977—2000	美国加利福尼亚州	队列研究	92	9	
[38]	Chen LH	2005	1977—2000	美国加利福尼亚州	队列研究	53	9	

注：^a 如文中未直接给出样本量，则使用日均值 × 研究天数粗略估计；^b 大气颗粒物暴露对缺血性心脏病死亡的影响

2.3.2 研究地点 将纳入研究按地区分为亚洲地区和欧美地区两个亚组进行合并效应值的比较，结果显示亚洲人群 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 暴露对缺血性心脏病死亡影响的暴露 - 反应关系合并效应值分别为 1.0052 (95% CI: 1.0031 ~ 1.0074) 和 1.0079 (95% CI: 1.0049 ~ 1.0109)，均低于欧美人群

[1.1010 (95% CI: 1.0756 ~ 1.1269) 和 1.0186 (95% CI: 1.0083 ~ 1.0290)]。

2.4 敏感性分析和发表偏倚

2.4.1 敏感性分析 在 PM_{2.5}、PM₁₀、PM_{10-2.5} 与人群缺血性心脏病死亡关系的荟萃分析中，逐一剔除单个研究，对比剔除前后合并效应值的差异。结果显



示,剔除前后的合并效应值未发生明显变化,且 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 的效应值仍具有统计学意义 ($P < 0.05$), 研究结果相对稳定可靠。

2.4.2 发表偏倚的检验及校正 使用 Egger's 法对入选文献进行发表偏倚的定量检验,结果显示除 $PM_{10-2.5}$ 外,纳入的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 与人群缺血性心脏病死亡关系的文献均存在一定的发表偏倚 ($P < 0.01$)。采用剪补法校正发表偏倚并计算校正后的合并效应值,可以发现校正后的效应估计值方向均未改变,但数值出现了不同程度的降低(表 2)。

表 2 发表偏倚的检验及校正

种类	Egger's 检验		校正后的效应值(95% CI)
	t 值	P 值	
$PM_{2.5}$	6.48	<0.01	1.0109(1.0047 ~ 1.0171)
PM_{10}	3.15	<0.01	1.0078(1.0040 ~ 1.0116)
$PM_{10-2.5}$	0.69	0.53	—

3 讨论

本研究通过对 20 世纪 90 年代以来国内外相关研究进行综合分析发现,大气颗粒物浓度的上升会导致人群缺血性心脏病死亡风险的增加。大气 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度每升高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 人群缺血性心脏病的死亡风险分别增加 2.36% 与 1.06%。这与其他荟萃分析的研究结果基本一致。Mustafic 等^[59]在探讨颗粒物污染对心肌梗死的影响时发现, $PM_{2.5}$ 浓度每升高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 人群心肌梗死的发生风险增加 2.5%, 高于 PM_{10} 导致的风险(0.6%); Lu 等^[60]的荟萃分析结果显示, $PM_{2.5}$ 对中国人群心血管疾病死亡影响的合并效应值亦高于 PM_{10} 。但本研究未发现 $PM_{10-2.5}$ 与缺血性心脏病死亡之间的关联具有统计学意义 ($P > 0.05$), 提示大气颗粒物对人群缺血性心脏病的影响可能主要归因于 $PM_{2.5}$ 暴露,但也可能由于 $PM_{10-2.5}$ 纳入研究数量较少造成。此外,本研究还发现亚洲人群 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 对缺血性心脏病死亡影响的暴露-反应关系合并效应值低于欧美人群,这可能与亚洲国家的大气颗粒物浓度普遍高于欧美国家,高浓度下暴露-反应关系曲线趋向平缓有关;也可能与不同地区大气颗粒物成分和人口结构不同等因素有关。

本研究敏感性分析表明,大气颗粒物对缺血性心脏病死亡影响的合并效应值相对稳健,但由于受作者、杂志等对所用文献主观因素的影响,阳性研究结果往往较阴性结果更易发表,因此在分析颗粒物

对缺血性心脏病死亡影响时仍然存在一定的发表偏倚。此外,本研究所纳入的文献存在异质性,这可能是由于不同研究对颗粒物的暴露评估方法、人群易感性以及混杂因素调整方式的不同造成的。

本研究尚存在一定的局限性。首先,其他大气污染物如 SO_2 、 O_3 等也可能对人群缺血性心脏病死亡产生影响^[61-62], 但本研究仅纳入了单污染物模型的效应估计值,没有考虑多污染物之间潜在的联合作用和共线性问题,这可能会对本次荟萃分析结果造成影响。其次,本研究纳入分析的文献存在异质性,这可能是由于各研究大气颗粒物的暴露水平高低不等并且测量方式不一致,各地区人群的易感性存在差异所致。此外,有关 $PM_{10-2.5}$ 对缺血性心脏病死亡的研究证据仍然不足,进而影响了统计学结果的外推。

综上,本研究基于国内外相关的流行病学研究资料,通过荟萃分析的方法获得了大气颗粒物对人群缺血性心脏病死亡影响的暴露-反应关系的合并效应值。所得结果可为大气污染相关的健康危险度评价工作提供参考,进而为政府相关环境决策提供科学依据。

利益冲突:无

参 考 文 献

- [1] GBD 2016 Causes of Death Collaborators. 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 [J]. Lancet, 2017, 390 (10100): 1151-1210. DOI:10.1016/S0140-6736(17)32152-9.
- [2] 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. DOI:10.1136/heartjnl-2014-306165.
- [3] Krewski D, Jerrett M, Burnett RT, et al. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality [J]. Res Rep Health Eff Inst, 2009, 140 (140): 5-114.
- [4] Zhang LW, Chen X, Xue XD, et al. Long-term exposure to high particulate matter pollution and cardiovascular mortality: A 12-year cohort study in four cities in northern China [J]. Environ Int, 2014, 62: 41-47. DOI:10.1016/j.envint.2013.09.012.
- [5] Atkinson RW, Cohen A, Mehta S, et al. Systematic review and meta-analysis of epidemiological time-series studies on outdoor air pollution and health in Asia [J]. Air Qual Atmos Health, 2012, 5 (4): 383-391. DOI:10.1007/s11869-010-0123-2.
- [6] Badaloni C, Cesaroni G, Cerza F, et al. Effects of long-term exposure to particulate matter and metal components on mortality in the Rome longitudinal study [J]. Environ Int, 2017, 109: 146-154. DOI:10.1016/j.envint.2017.09.005.
- [7] Pinault LL, Weichenthal S, Crouse DL, et al. Associations between fine particulate matter and mortality in the 2001 Canadian Census Health and Environment Cohort [J]. Environ Res, 2017, 159: 406-415. DOI: 10.1016/j.envres.2017.



- 08.037.
- [8] Chen R, Yin P, Meng X, et al. Fine Particulate Air Pollution and Daily Mortality: A Nationwide Analysis in 272 Chinese Cities [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 196(1): 73-81. DOI: 10.1164/rccm.201609-1862OC.
- [9] 周慧霞, 谢俊卿, 信振江, 等. 北京市某区 PM_{2.5} 与居民冠心病死亡关系研究 [J]. *首都公共卫生*, 2017, 11(5): 216-219.
Zhou HX, Xie JQ, Xin ZJ, et al. Relationship between fine particulate matter and coronary heart disease death in one district of Beijing [J]. *Capital J Public Health*, 2017, 11(5): 216-219.
- [10] 梁锐明. 长期暴露于 PM_{2.5} 与心脑血管疾病死亡关联研究 [D]. 中国疾病预防控制中心, 2017.
Liang RM. Associations between Long-term Exposure to Fine Particulate Matters and Risk of Cardiovascular Mortality [D]. Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2017.
- [11] Dabass A, Talbott EO, Bilonick RA, et al. Using spatio-temporal modeling for exposure assessment in an investigation of fine particulate air pollution and cardiovascular mortality [J]. *Environ Res*, 2016, 151: 564-572. DOI: 10.1016/j.envres.2016.08.024.
- [12] Luo K, Li W, Zhang R, et al. Ambient fine particulate matter exposure and risk of cardiovascular mortality: adjustment of the meteorological factors [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2016, 13(11): 1082. DOI:10.3390/ijerph13111082.
- [13] 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*, 2016, 27(3): 333-338. DOI:10.1038/jes.2016.63.
- [14] Thurston GD, Burnett RT, Turner MC, et al. Ischemic heart disease mortality and long-term exposure to source-related components of U.S. fine particle air pollution [J]. *Environ Health Perspect*, 2016, 124(6): 785-794. DOI:10.1289/ehp.1509777.
- [15] 王临池, 姚玉刚, 陆艳, 等. 苏州市居民心脏病死亡与大气颗粒物污染的关系 [J]. *中国慢性病预防与控制*, 2015, 23(12): 888-891. DOI: 10.16386/j.cjpcd.issn.1004-6194.2015.12.003.
Wang LC, Yao YG, Lu Y, et al. Relationship between the daily mortality of cardiac disease and particulate matter pollution in Suzhou [J]. *Chin J Prevent Control Chronic Dis*, 2015, 23(12): 888-891. DOI: 10.16386/j.cjpcd.issn.1004-6194.2015.12.003.
- [16] Dai J, Chen R, Meng X, et al. Ambient air pollution, temperature and out-of-hospital coronary deaths in Shanghai, China [J]. *Environ Pollut*, 2015, 203(4): 116-121. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.03.050.
- [17] Villeneuve PJ, Weichenthal SA, Crouse D, et al. Long-term exposure to fine particulate matter air pollution and mortality among Canadian women [J]. *Epidemiology*, 2015, 26(4): 536-545. DOI:10.1097/EDE.0000000000000294.
- [18] Kim SY, Dutton SJ, Sheppard L, et al. The short-term association of selected components of fine particulate matter and mortality in the Denver Aerosol Sources and Health (DASH) study [J]. *Environ Health*, 2015, 14: 49. DOI: 10.1186/s12940-015-0037-4.
- [19] 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. DOI: 10.1186/s12940-015-0037-4.
- [20] Tam WWS, Wong TW, Wong AHS. Association between air pollution and daily mortality and hospital admission due to ischaemic heart diseases in Hong Kong [J]. *Atmospheric Environment*, 2015, 120: 360-368. DOI:10.1016/j.atmosenv.2015.08.068.
- [21] Wong CM, Lai HK, Tsang H, et al. Satellite-based estimates of long-term exposure to fine particles and association with mortality in elderly Hong Kong residents [J]. *Environ Health Perspect*, 2015, 123(11): 1167-1172. DOI:10.1289/ehp.1408264.
- [22] Beelen R, Stafoggia M, Raaschou-Nielsen O, et al. Long-term exposure to air pollution and cardiovascular mortality: an analysis of 22 European cohorts [J]. *Epidemiology*, 2014, 25(3): 368-378. DOI:10.1097/EDE.0000000000000076.
- [23] Milojevic A, Wilkinson P, Armstrong B, et al. Short-term effects of air pollution on a range of cardiovascular events in England and Wales: case-crossover analysis of the MINAP database, hospital admissions and mortality [J]. *Heart*, 2014, 100(14): 1093-1098. DOI:10.1136/heartjnl-2013-304963.
- [24] Jerrett M, Burnett RT, Beckerman BS, et al. Spatial analysis of air pollution and mortality in California [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 188(5): 593-599. DOI: 10.1164/rccm.201303-0609OC.
- [25] Carey IM, Atkinson RW, Kent AJ, et al. Mortality associations with long-term exposure to outdoor air pollution in a national English cohort [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 187(11): 1226-1233. DOI:10.1164/rccm.201210-1758OC.
- [26] Cesaroni G, Badaloni C, Gariazzo C, et al. Long-term exposure to urban air pollution and mortality in a cohort of more than a million adults in Rome [J]. *Environ Health Perspect*, 2013, 121(3): 324-331. DOI:10.1289/ehp.1205862.
- [27] Neuberger M, Moshhammer H, Rabczenko D. Acute and subacute effects of urban air pollution on cardiopulmonary emergencies and mortality: time series studies in Austrian cities [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2013, 10(10): 4728-4751. DOI: 10.3390/ijerph10104728.
- [28] Crouse D L, Peters P A, Aaron V D, et al. Risk of nonaccidental and cardiovascular mortality in relation to long-term exposure to low concentrations of fine particulate matter: a Canadian national-level cohort study [J]. *Environ Health Perspect*, 2012, 120(5): 708-714. DOI: 10.1289/ehp.1104049.
- [29] Lipsett MJ, Ostro BD, Reynolds P, et al. Long-term exposure to air pollution and cardiorespiratory disease in the California teachers study cohort [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2011, 184(7): 828-835. DOI:10.1164/rccm.201012-2082OC.
- [30] Yorifuji T, Kawachi I, Kaneda M, et al. Diesel vehicle emission and death rates in Tokyo, Japan: A natural experiment [J]. *Sci Total Environ*, 2011, 409(19): 3620-3627. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.06.002.
- [31] Puett RC, Hart JE, Suh H, et al. Particulate matter exposures, mortality, and cardiovascular disease in the health professionals follow-up study [J]. *Environ Health Perspect*, 2011, 119(8): 1130-1135. DOI:10.1289/ehp.1002921.
- [32] Gan WQ, Koehoorn M, Davies HW, et al. Long-term exposure to traffic-related air pollution and the risk of coronary heart disease hospitalization and mortality [J]. *Environ Health Perspect*, 2011, 119(4): 501-507. DOI:10.1289/ehp.1002511.
- [33] Ostro B, Lipsett M, Reynolds P, et al. Long-term exposure to constituents of fine particulate air pollution and mortality: results from the California Teachers Study [J]. *Environ Health Perspect*, 2010, 118(3): 363-369. DOI:10.1289/ehp.0901181.
- [34] Puett RC, Hart JE, Yanosky JD, et al. Chronic fine and coarse particulate exposure, mortality, and coronary heart disease in the nurses' health study [J]. *Environ Health Perspect*, 2009, 117(11): 1697-1701. DOI:10.1289/ehp.0900572.
- [35] Halonen J, Lanki T, Yli-Tuomi T, et al. Particulate air pollution and acute cardiorespiratory hospital admissions and mortality among the elderly [J]. *Epidemiology*, 2009, 20(1): 143-53. DOI:10.1097/EDE.0b013e31818c7237.
- [36] Miller KA, Siscovick DS, Sheppard L, et al. Long-term



官方网站

腾讯微信

- exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women [J]. *N Engl J Med*, 2007, 356 (5): 447-458. DOI: 10.1056/NEJMoa054409.
- [37] Ostro B, Broadwin R, Green S, et al. Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: results from CALFINE [J]. *Environ Health Perspect*, 2006, 114 (1): 29-33. DOI:10.1289/ehp.8335.
- [38] Chen LH, Knutsen SF, Shavlik D, et al. The association between fatal coronary heart disease and ambient particulate air pollution; are females at greater risk? [J]. *Environ Health Perspect*, 2005, 113 (12): 1723-1729. DOI: 10.1289/ehp.8190.
- [39] Jerrett M, Burnett RT, Ma R, et al. Spatial Analysis of Air Pollution and Mortality in Los Angeles [J]. *Epidemiology*, 2005, 16 (6): 727-736. DOI:10.1097/01.ede.0000181630.15826.7d.
- [40] Pope CA, Burnett RT, Thurston GD, 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. DOI: 10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F.
- [41] Goldberg MS, Burnett RT, Bailar JC, et al. Identification of persons with cardiorespiratory conditions who are at risk of dying from the acute effects of ambient air particles [J]. *Environ Health Perspect*, 2001, 109 (Suppl 4): 487-494. DOI: 10.1289/ehp.01109s4487.
- [42] Goldberg MS, Burnett RT, Bailar JC, et al. The association between daily mortality and ambient air particle pollution in Montreal, Quebec. 2. Cause-specific mortality [J]. *Environ Res*, 2001, 86 (1): 26-36. DOI:10.1006/enrs.2001.4243.
- [43] Schwartz J, Dockery DW, Neas LM. Is daily mortality associated specifically with fine particles? [J]. *J Air Waste Manag Assoc*, 1996, 46 (10): 927-939. DOI: 10.1080/10473289.1996.10467528.
- [44] Li H, Chen R, Meng X, et al. Short-term exposure to ambient air pollution and coronary heart disease mortality in 8 Chinese cities [J]. *Int J Cardiol*, 2015, 197: 265-270. DOI:10.1016/j.ijcard.2015.06.050.
- [45] Liu Y, Chen X, Huang S, et al. Association between air pollutants and cardiovascular disease mortality in Wuhan, China [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2015, 12 (4): 3506-3516. DOI:10.3390/ijerph120403506.
- [46] 路凤,周连,陈晓东,等. 2009-2013 年南京市大气可吸入颗粒物污染与循环系统疾病死亡关系的病例交叉研究 [J]. *中华预防医学杂志*, 2015 (9): 817-821. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2015.09.010.
- [47] Lu F, Zhou L, Chen XD, et al. Association between ambient inhalable particle pollution and mortality due to circulatory disease in Nanjing; a case-crossover study [J]. *Chin J Prevent Med*, 2015 (9): 817-821. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2015.09.010.
- [48] 张云权,吴凯,朱慈华,等. 武汉大气污染与缺血性心脏病死亡关系季节差异 [J]. *中国公共卫生*, 2015, 31 (7): 926-929. DOI:10.11847/zgggws2015-31-07-19.
- [49] Zhang YQ, Wu K, Zhu CH, et al. Seasonal variation in association between air pollution and ischemic heart disease mortality in Wuhan, China [J]. *Chin J Public Health*, 2015, 31 (7): 926-929. DOI:10.11847/zgggws2015-31-07-19.
- [50] Xu M, Guo Y, Zhang Y, et al. Spatiotemporal analysis of particulate air pollution and ischemic heart disease mortality in Beijing, China [J]. *Environ Health*, 2014, 13 (1): 1-12. DOI:10.1186/1476-069X-13-109.
- [51] 李林. 不同粒径的大气颗粒物对各疾病别死亡的急性效应的研究 [D]. 南开大学, 2014.
- [52] Li L. Study on acute cause-specific mortality effects of different size fractions of atmospheric particulate matter [D]. Nankai University, 2014.
- [53] Nishiwaki Y, Michikawa T, Takebayashi T, et al. Long-term exposure to particulate matter in relation to mortality and incidence of cardiovascular disease; the JPHC Study [J]. *J Atheroscler Thromb*, 2013, 20 (3): 296-309.
- [54] 王德征,江国虹,张辉,等. 天津市 2001-2009 年空气污染物二氧化硫、二氧化氮和可吸入颗粒物对冠心病死亡影响的时间序列分析 [J]. *中华流行病学杂志*, 2013, 34 (5): 478-483. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2013.05.015.
- [55] Wang DZ, Wang GH, Zhang H, et al. Effect of air pollution on coronary heart disease mortality in Tianjin, 2001-2009: a time-series study [J]. *Chin J Epidemiol*, 2013, 34 (5): 478-483. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2013.05.015.
- [56] Li GX, Zhou MG, Zhang YJ, et al. Seasonal effects of PM₁₀ concentrations on mortality in Tianjin, China: a time-series analysis [J]. *J Public Health*, 2013, 21 (2): 135-144. DOI: 10.1007/s10389-012-0529-4.
- [57] Ueda K, Nagasawa SY, Nitta H, et al. Exposure to particulate matter and long-term risk of cardiovascular mortality in Japan: NIPPON DATA80 [J]. *J Atheroscler Thromb*, 2012, 19 (3): 246-254.
- [58] Revich B, Shaposhnikov D. The effects of particulate and ozone pollution on mortality in Moscow, Russia [J]. *Air Qual Atmos Health*, 2010, 3 (2): 117-123. DOI: 10.1007/s11869-009-0058-7.
- [59] Puett RC, Schwartz J, Hart JE, et al. Chronic particulate exposure, mortality, and coronary heart disease in the nurses' health study [J]. *Am J Epidemiol*, 2008, 168 (10): 1161-1168. DOI:10.1093/aje/kwn232.
- [60] 张晓平,张燕萍,封宝琴,等. 太原市大气可吸入颗粒物对心脑血管疾病死亡的影响 [J]. *疾病监测*, 2007, 22 (8): 556-559. DOI:10.3784/j.issn.1003-9961.2007.08.019.
- [61] Zhang XP, Zhang YP, Feng BQ, et al. Effects of PM₁₀ on the mortality of cerebrocardiovascular diseases in Taiyuan [J]. *Dis Survveill*, 2007, 22 (8): 556-559. DOI:10.3784/j.issn.1003-9961.2007.08.019.
- [62] Forastiere F, Stafoggia M, Picciotto S, et al. A case-crossover analysis of out-of-hospital coronary deaths and air pollution in Rome, Italy [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2005, 172 (12): 1549-1555. DOI:10.1164/rccm.200412-1726OC.
- [63] Wong TW, Tam WS, Yu TS, et al. Associations between daily mortalities from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Hong Kong, China [J]. *Occup Environ Med*, 2002, 59 (1): 30-35. DOI:10.1136/oem.59.1.30.
- [64] Mustafic H, Jabre P, Caussin C, et al. Main air pollutants and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis [J]. *JAMA*, 2012, 307 (7): 713-721. DOI: 10.1001/jama.2012.126.
- [65] Lu F, Xu D, Cheng Y, et al. Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM_{2.5} and PM₁₀ pollution in the Chinese population [J]. *Environ Res*, 2015, 136: 196-204. DOI:10.1016/j.envres.2014.06.029.
- [66] 杨贵芳. 太原市大气污染与缺血性心脏病日住院人数的时间序列研究 [D]. 山西医科大学, 2017.
- [67] Yang GF. Time-series study on the association of air pollution and the number of daily inpatients of ischemic heart disease in Taiyuan [D]. Shanxi Medical University, 2017.
- [68] Chen R, Chen C, Tan J, et al. Ambient air pollution and hospital admission in Shanghai, China [J]. *J Hazard Mater*, 2010, 181 (1): 234-240. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.05.002.

(收稿日期:2018-05-07)

(本文编辑:谭潇)