

文章编号 : 1006-3617(2014)04-0324-05

【EHP 专栏】

## 中国城市中大气分粒级的粒子数浓度与每日死亡率

Xia Meng<sup>1, 2</sup>, Yanjun Ma<sup>3</sup>, Renjie Chen<sup>1, 2</sup>, Zhijun Zhou<sup>1</sup>, Bingheng Chen<sup>1, 2</sup>, Haidong Kan<sup>1, 2, 4</sup>

**摘要:** [背景] 大气颗粒物与健康结局之间的相关性已在全球范围内广为报道。然而, 有关不同粒径颗粒物对健康影响的研究却十分有限。[目的] 以中国沈阳为例, 探索不同粒径颗粒物的数量浓度 (particle number concentrations, PNCs) 与每日死亡率之间的关系。[方法] 研究时间为 2006 年 12 月 1 日至 2008 年 11 月 30 日, 分别收集每日死因别死亡率和直径为 0.25~10 μm 颗粒物的每日 PNCs。用基于半泊松回归的广义相加模型来评估 PNCs 与死亡率之间的相关性, 同时采用自然样条平滑函数校正随时间变化的协变量、长期趋势及季节性趋势。[结果] 在研究时间内, 归因于非意外的自然死亡、心血管疾病和呼吸系统疾病的平均每日死亡数分别为 67、32 和 7。直径为 0.25~0.50 μm 的颗粒物 PNCs 与总死亡率和心血管疾病死亡率明显相关, 但与呼吸系统疾病死亡率无明显相关性。与冷季相比, 暖季 PNCs 效应估计值较大, 并且效应值随着颗粒物粒径的减小而增加。0.25~0.28 μm、0.35~0.40 μm 和 0.45~0.50 μm 的颗粒物 PNCs 每增加 1 个 IQR 浓度, 与之相关的总死亡风险分别增大 2.41% (95%CI: 1.23%~3.58%)、1.31% (95%CI: 0.52%~2.09%) 和 0.45% (95%CI: 0.04%~0.87%)。校正大气颗粒物和气态污染物的质量浓度后, 这种相关性仍然保持稳定。[结论] 研究结果提示, 直径 <0.5 μm 的颗粒物可能是空气污染颗粒中导致不良健康影响的最主要成分, 并且对健康的不利影响随着颗粒直径的减小而增加。

原文详见 *Environmental Health Perspective*, 2013, 121 (10): 1174-1178.

### 1 前言

颗粒物 (PM) 由一系列粒径不同的颗粒构成, 包括可吸入颗粒物 (空气动力学直径 <10 μm, PM<sub>10</sub>)、粗颗粒物 (空气动力学直径在 2.5~10 μm, PM<sub>2.5~10</sub>)、细颗粒物 (空气动力学直径 <2.5 μm, PM<sub>2.5</sub>) 和超细颗粒物 (空气动力学直径 <0.1 μm 的颗粒物, UFPs)。许多流行病学研究发现, 大气颗粒物污染和不良健康结局之间呈现明显正相关 (Brunekreef 和 Forsberg, 2005; Chen 等, 2011, 2012; Dominici 等, 2006), 但有关颗粒粒径大小对健康影响的研究却十分有限 (Wichmann 等, 2000)。

相比于大粒径颗粒物, 小粒径颗粒物更倾向于由燃料燃烧和二次反应生成 (例如, 粒径 ≤ 2.5 μm 的颗粒物)。与较大粒径的颗粒物相比, 小粒径颗粒物的单位颗粒物数量浓度 (PNCs, 以每立方米颗粒数计) 更高, 单位表面积更大, 因而更易于吸附有毒性的成分, 在呼吸道的沉积效率更高 (Delfino 等, 2005; Valavanidis 等, 2008)。然而, 以往关于 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>2.5~10</sub> 质量浓

度 (mg/m<sup>3</sup>) 的增加对健康影响的研究结果并不一致 (Brunekreef 和 Forsberg, 2005)。受到颗粒物数量浓度检测能力的限制, 目前有关不同粒径颗粒物的流行病学研究匮乏 (Ibald-Mulli 等, 2002), 而已有研究的结论也不一致。例如, Pekkanen 等 (2002) 报道, 在运动测试中, 研究对象心电图的 ST 段压低与小粒径颗粒物的 PNCs (PNC<sub>0.1~1.0</sub> 和 PNC<sub><0.1</sub>) 呈明显正相关, 与 PM<sub>2.5</sub> 的质量浓度也呈明显正相关, 但与 PM<sub>2.5~10</sub> 的质量浓度无相关性。相反, Andersen 等 (2008) 报道, 老年人因心血管疾病住院与 PM<sub>10</sub> 和 PNC<sub>0.1~1.0</sub> 呈明显正相关, 但与 PNC<sub><0.1</sub> 无相关性。

以往关于 PNCs 与不良健康结局的研究多数在发达国家开展, 这类研究在中国非常稀少, 但中国的颗粒物空气污染非常严重, 并且与发达国家的空气污染相比可能在粒径分布和化学成分等方面有差异 (Kan 等, 2009)。本研究的目的是以中国沈阳为例, 探索不同粒径颗粒物的 PNCs 短期暴露与每日死亡率之间的相关性。

### 2 方法

#### 2.1 数据

沈阳是辽宁省的省会, 也是中国东北部最大的城市。本研究仅限于沈阳市区。2008 年研究区域的人口总数为 350 万。沈阳颗粒物空气污染的主要来源是燃煤、城市交通尾气排放、建筑施工、化工行业及自然降尘。

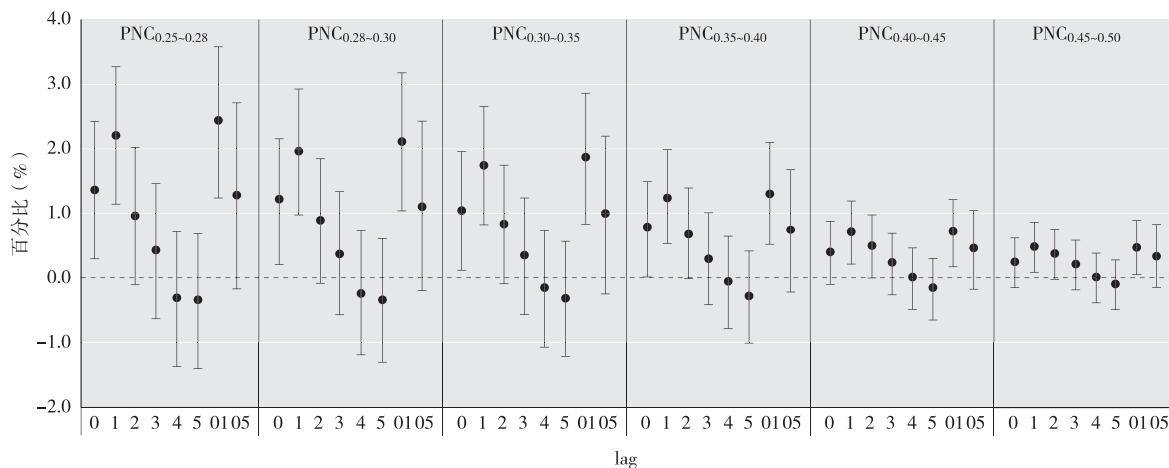
2006 年 12 月 1 日至 2008 年 11 月 30 日 (共 731 天) 的沈阳市城镇居民每日死亡数据来自辽宁省疾病预防控制中心。死因根据《国际疾病分类 (第 10 版)》编码 (ICD-10; 世界卫生组织, 1992), 可归因为非意外原因 (ICD-10 代码 A00—R99)、心血管疾病 (ICD-10 代码 I00—I99) 和呼吸系统疾病 (ICD-10 代码

[作者单位] 1.School of Public Health, Key Lab of Public Health Safety of the Ministry of Education, Fudan University, Shanghai, China; 2.Research Institute for the Changing Global Environment and Fudan Tyndall Centre, Fudan University, Shanghai, China; 3.Shenyang Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, Shenyang, China; 4.Shanghai Key Laboratory of Atmospheric Particle Pollution and Prevention (LAP3), Fudan University, Shanghai, China

[通信作者] H. Kan, P.O. Box 249, 130 Dong-An Rd., Shanghai 200032 China. Telephone: 86 21 54237903. E-mail: haidongkan@gmail.com







[注] lag 0~5 表示当天单日平均暴露情况(lag 0)至前 5 天的单日平均暴露情况(lag 5); lag 01 表示当天和前 1 天 24 h 滑动均线(lag 01), lag 05 表示前 5 天至当天的 6 天滑动均线(lag 05)。

图 1 使用不同滞后结构时,中国沈阳与粒径  $<0.50\mu\text{m}$  颗粒物 PNCs IQR 增加相关的每日死亡率增加百分比(均值, 95%CI)

#### 4 讨论

在本时间序列研究中,我们发现粒径为  $0.25\sim0.5\mu\text{m}$  颗粒物的 PNCs 与每日死亡率之间呈明显正相关,并且这种相关性随颗粒物粒径减小而增加。调整  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{2.5\sim10}$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_2$  的质量浓度后结果依然稳健,这表明 PNCs 对于死亡率的影响可能是独立的。暖季 PNCs 与每日死亡率之间的相关性强于冷季。

据我们所知,本研究是为数不多的针对发展中国家 PNCs 健康效应的研究之一。本研究结果与之前德国埃尔福特(Stolzel 等, 2007; Wichmann 等, 2000)和中国北京(Breitner 等, 2011; Leitte 等, 2012)的研究结果一致。Wichmann 等(2002)的研究表明,每日死亡率与粒径  $0.01\sim2.5\mu\text{m}$  颗粒物的 PNCs 呈正相关,而本研究结果显示,这种明显相关性只存在于粒径  $0.25\sim0.5\mu\text{m}$  的颗粒物。以往的研究对于 PNCs 的滞后效应报道并不一致。本研究表明,单日滞后模型中,相关性在滞后 1 天时最强,且仅前 3 个滞后日的相关性明显。相对而言,其他的研究表明,越小的颗粒滞后效应持续的时间越长(Ibald-Mulli 等, 2002; Leitte 等, 2012; Stolzel 等, 2007)。例如,Leitte 等(2012)的研究表明,PNC<sub>0.3~1.0</sub> 与每日死亡率的相关性在滞后 4 天时最强。需要进行更多的研究来明确不同粒径颗粒物 PNCs 的滞后效应。

尽管已有的流行病学研究表明,短期暴露于 PNCs 与 65 岁以上呼吸系统疾病患者的住院情况(Andersen 等, 2008)及非吸烟哮喘患者的肺功能(Peters 等, 1997)之间存在相关性,但在本研究人群中没有发现 PNCs 与呼吸系统疾病死亡率之间存在明显正相关。本研究发现,PNCs 与心血管疾病死亡率呈明显正相关,而与呼吸系统疾病死亡率无明显相关,这与德国埃尔福特的研究结果一致。该研究采用敏感性分析提示,超细颗粒物 PNCs 与心肺疾病死亡率之间的相关性可能主要是与心血管疾病的相关性导致的(Stolzel 等, 2007)。以往研究所报道的 PNCs 与呼吸系统健康结局之间的相关性主要是针对超细颗粒物(直径  $<0.1\mu\text{m}$ ),而本研究的最小颗粒物直径为  $0.25\mu\text{m}$ ,因此,对呼吸系统产生影响的可能是超细颗粒物,而非粒径较大

的颗粒物。此外,这些研究的研究对象为哮喘或慢性阻塞性肺病患者,这些人群被认为是空气污染的易感人群(Zanobetti 等, 2000)。另一方面,本研究的对象是一个城市中的一般人群。此外,相对于呼吸系统疾病死亡,短期暴露更可能导致心血管疾病死亡(Basso 等, 1999),尤其是空气污染相关的死亡。归因于呼吸系统疾病的每日死亡数明显小于归因于心血管疾病的每日死亡数,这也限制了我们对 PNCs 与呼吸系统疾病死亡率之间关联的评估。再者,研究 PNCs 与呼吸系统疾病发病率和亚临床疾病指标(而非呼吸系统疾病死亡率)之间的关联可能提供更多信息。

本研究分析发现,粗颗粒物(直径为  $2.5\sim1.0\mu\text{m}$ )的 PNCs 与每日死亡率之间没有关联,这与针对粗颗粒物质量浓度的研究结果一致(Chen 等, 2011; Peng 等, 2008)。然而,由于在城市中粗颗粒物浓度比细颗粒物浓度变异性更大(Wilson 和 Suh, 1997),因此应谨慎阐释本文中 PNC<sub>2.5~10</sub> 结果(由于数据来自一个监测点)。另外,由于粗颗粒物的数量浓度(IQR 为  $4/\text{cm}^3$ )相对较小(如,相对于 PNC<sub>0.25~0.28</sub>,其 IQR 为  $2600/\text{cm}^3$ ),粗颗粒物每上升一个 IQR 与死亡率之间的相关性可能更难研究。

PNCs 与每日死亡率之间的相关性在暖季强于冷季。人群暴露于大气颗粒物的模式可能随季节改变。由于冬季气温低及集中供热系统的广泛使用,所以沈阳居民更倾向于待在室内并尽可能关闭窗户,从而降低室外空气污染暴露的可能性。相对而言,暖季的气候更宜人,居民室外活动和房屋自然通风均会增加,从而增加了人群暴露于室外颗粒物的机会和强度。同时,夏季的高温可能会加剧大气颗粒物的不良健康效应(Meng 等, 2012)。另外,这种关联性在暖季更强可能与夏季背景死亡率较低有关,导致易感人群池更大(Nawrot 等, 2007)。

本研究存在一定的不足之处。我们研究了多个粒径分组的 PNCs 与 3 种不同死亡率之间的相关性,并且采用了多种滞后效应结构,因此,有一些明显相关性的出现可能具有偶然性。由于测量设备所限,我们无法评估超细颗粒物的效应。此外,PNCs 与共存污染物之间的共线性限制了我们区分各个污染物独立影响的能力。

暴露错分是时间序列研究中一个公认的局限性。我们使用一个固定监测站的测量结果只近似地代表人群颗粒物 PNCs 暴露，无法估计颗粒物暴露的空间变化。然而，在多个欧洲城市的研究发现，监测站之间颗粒物日均 PNCs 的时间相关性很高 (Buzorius 等, 1999; Cyrys 等, 2008; Puustinen 等, 2007)，这提示，使用一个慎重选择的监测站能够合理描述流行病学时间序列研究中颗粒物数量浓度的特征。我们的方法与之前在德国埃尔福特 (Wichmann 等, 2000) 和中国北京 (Leitte 等, 2012) 进行的有关 PNCs 与死亡率的研究一致，这两项研究也是从一个慎重选择的站点获得监测数据。

## 5 结论

本研究分析表明，粒径小于  $0.5 \mu\text{m}$  的颗粒物可能是颗粒物

空气污染相关不良健康效应的主要成分。PNCs 与每日死亡率之间的相关性不受颗粒物质量浓度和其他气态污染物暴露的影响，且此相关性在暖季强于冷季。本研究的结果提示，需要进一步研究 PNC 相关的健康危害，这将为中国制定环境政策和保护公众健康提供依据。

翻译：张伊人、汪源；审校：金泰廙

## 参考文献(略)

本文原文刊登于 *EHP* 杂志，需要者务必应用英文原文，详见：MENG X, MA Y, CHEN R, et al. Size-fractionated particle number concentrations and daily mortality in a Chinese city. *Environ Health Perspect*, 2013, 121 (10): 1174-1178.

本文原文及参考文献请浏览 <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1206398>

(编辑：汪源；校对：何蓉)

## 【精彩预告】

# 较低剂量纳米二氧化钛颗粒对细胞增殖的影响及其机制研究

魏红英，郭新彪，许碧辉，秦宇，王云，邓芙蓉

为探讨较低剂量纳米二氧化钛 (nano-TiO<sub>2</sub>) 颗粒对人肺上皮细胞 (A549 细胞) 增殖的影响及其可能机制，采用不同粒径 (5、10 和 40 nm) 和浓度 (0、0.125、0.5、1、2、4、8、16 mg/L) 的 nano-TiO<sub>2</sub> 处理 A549 细胞 24 h，四甲基偶氮唑盐 (MTT) 法和细胞计数法观察 nano-TiO<sub>2</sub> 对细胞增殖的影响；流式细胞术检测 nano-TiO<sub>2</sub> 对细胞凋亡的影响；Western Blotting 测定 nano-TiO<sub>2</sub> 对细胞外调节蛋白激酶 (ERK) 的影响。并采用 ERK 特异性抑制剂 PD98059 (20 μmol/L) 对细胞预处理 30 min 后，MTT 法观察 ERK 抑制剂对低浓度 nano-TiO<sub>2</sub> (0.5 mg/L) 调节细胞增殖的影响。结果显示，不同粒径的 nano-TiO<sub>2</sub> 均在较低浓度 ( $\leq 4 \text{ mg/L}$ ) 促进细胞增殖，较高浓度 ( $\geq 8 \text{ mg/L}$ ) 抑制细胞活力，更高浓度 nano-TiO<sub>2</sub> (16 mg/L) 可引起细胞凋亡的发生。进一步研究发现，低浓度 nano-TiO<sub>2</sub> (0.5 mg/L) 可引起细胞磷酸化 ERK 表达增强，ERK 抑制剂 PD98059 可明显抑制低浓度 nano-TiO<sub>2</sub> (0.5 mg/L) 的促细胞增殖作用。本研究表明，低浓度 nano-TiO<sub>2</sub> 可通过激活 ERK 促进细胞增殖，较高浓度 nano-TiO<sub>2</sub> 则可引起细胞凋亡而抑制细胞活力。不同粒径 nano-TiO<sub>2</sub> 的效应之间没有明显差异。

此文将于近期刊出，敬请关注！

# PET/CT 职业照射的剂量估算与分析

彭建亮，周晓剑，李雪琴，王晓涛，陈栋梁

主要介绍在 PET/CT 应用过程中职业照射剂量的测算方法，以及辐射防护措施，为评价和技术审评提供参考。参照 IAEA58 号技术文件和 AAPM108 工作组的报告，以某 PET/CT 中心为例，分析辐射源项和工作流程，细化参数，分别估算各操作岗位工作人员的年受照剂量，结合轮岗情况测算年剂量。结果表明，该中心分装、注射、摆位和控制室操作等岗位的工作人员年剂量分别为 0.06、0.14、7.0、0.36 mSv，在轮岗情况下年受照剂量约为 1.9 mSv，手部当量剂量为 340 mSv。本研究结果提示，PET/CT 工作人员应实行轮岗制度，使用单位应加强分装、注射、摆位环节的辐射防护。

此文将于近期刊出，敬请关注！