

大气可吸入颗粒物与心脑血管疾病 急诊关系的病例交叉研究

郭玉明 刘利群 陈建民 杨敏娟 Wichmann 潘小川

【摘要】 目的 探讨北京市大气可吸入颗粒物污染(PM_{10})对心脑血管疾病急诊的影响。方法 收集北京大学第三医院急诊科心脑血管疾病急诊资料和北京市环境监测中心大气污染物数据,应用时间分层的病例交叉设计研究方法进行数据分析。结果 无滞后单向回顾性1:4配对病例交叉研究的效应值(*OR*值)最大,在控制所选 PM_{10} 当日气温、相对湿度影响的情况下, PM_{10} 浓度每提高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 与心脑血管疾病急诊(ICD-10: I00- I99)、冠心病急诊(ICD-10: I20- I25)、心律失常急诊(ICD-10: I47- I49)、心衰急诊(ICD-10: I50)和脑血管疾病急诊(ICD-10: I60- I69)的 *OR* 值分别为1.006 (95% *CI*: 1.003~1.008)、1.003 (95% *CI*: 0.996~1.010)、1.005 (95% *CI*: 0.997~1.013)、1.019 (95% *CI*: 1.005~1.033)、1.003 (95% *CI*: 0.998~1.007),其中 PM_{10} 与总心脑血管疾病急诊和心衰急诊的关联有统计学意义($P < 0.05$)。结论 大气 PM_{10} 污染物浓度升高可导致总心脑血管疾病急诊和心衰急诊增加。

【关键词】 心脑血管疾病;可吸入颗粒物;病例交叉研究

Association between the concentration of particulate matters and the hospital emergency room visits for circulatory diseases: a case-crossover study GUO Yu-ming*, LIU Li-qun, CHEN Jian-min, YANG Min-juan, WICHMANN, PAN Xiao-chuan. *Department of Occupational and Environmental Health, School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China
Corresponding author: PAN Xiao-chuan, Email: xcpa@bjmu.edu.cn

【Abstract】 **Objective** To explore the association between the concentration of particulate matters with an aerodynamic diameter of $< 10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) and the hospital emergency room visits for circulatory diseases (International Classification of Diseases, tenth vision ICD-10: I00- I99) in Beijing, China. **Methods** We collected data for daily hospital emergency room visits of circulatory diseases (ICD-10: I00- I99) from Peking University Third Hospital and from the ambient air PM_{10} through the Beijing Municipal Environmental Monitoring Center. A time-stratified case-crossover design was used to evaluate associations between circulatory disease health outcomes and PM_{10} . **Results** The no-lagged unidirectional case-crossover design with 1:4 matched pairs had the highest odds ratios (*OR*s) between PM_{10} and the hospital emergency room visits for circulatory diseases. After adjusting the temperature and the relative humidity, a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increased in the PM_{10} were found associated with the emergency room visits on value of *OR*s of 1.006 (95% *CI*: 1.003-1.008) for the total circulatory diseases (ICD-10: I00- I99), 1.003 (95% *CI*: 0.996-1.010) for coronary heart disease (ICD-10: I20- I25), 1.005 (95% *CI*: 0.997-1.013) for cardiac arrhythmia (ICD-10: I47- I49), 1.019 (95% *CI*: 1.005-1.033) for heart failure disease (ICD-10: I50), and 1.003 (95% *CI*: 0.998-1.007) for cerebrovascular diseases (ICD-10: I60- I69), respectively. **Conclusion** These findings suggested that elevated levels of ambient PM_{10} were positively associated with hospital emergency room visits for the total number of circulatory diseases and heart failure disease.

【Key words】 Circulatory diseases; Particulate matter; Case-crossover study

近年来,大量环境流行病学研究显示,大气可吸

入颗粒物(空气动力学直径 $< 10 \mu\text{m}$, PM_{10})浓度升高与心血管疾病发病率和死亡有关^[1-5]。美国和欧洲的研究发现,大气 PM_{10} 浓度升高可以诱发心肌梗死的发生^[6-9], Zanobetti 和 Schwartz^[9] 研究发现大气 PM_{10} 浓度每升高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 导致心肌梗死急诊住院病例提高0.65% (95% *CI*: 0.3%~1.0%)。韩国两

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(20637026)

作者单位:100191 北京大学医学部公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学系(郭玉明、刘利群、杨敏娟、潘小川);北京大学第三医院病案室(陈建民);GSF-National Research Centre for Environment and Health, Munich, German(Wichmann)

通信作者:潘小川, Email: xcpa@bjmu.edu.cn

项研究证明 PM_{10} 浓度升高与缺血性死亡以及脑卒中死亡有关^[10,11]。我国上海、杭州、太原的研究同样显示, PM_{10} 浓度升高与心血管疾病死亡率升高有关^[12-15]。也有研究提示 PM_{10} 浓度升高与心脑血管疾病住院率升高有关^[16-20]。国内外目前的研究主要集中在心脑血管疾病死亡率或住院人次与大气颗粒物的相关性研究。我国对死因统计的资料虽然相对较为准确,但对于短期暴露与人群死因的相关分析,至今在因果推断上仍存在争议和一定局限;国外对住院率的研究在我国目前各医院持续病床紧张的状况下,难以准确反映短期大气污染的相关健康效应。相比之下,医院急诊的变化对于观察短期大气污染健康效应,可能是较为合适的健康终点之一。本研究采用时间分层的病例交叉设计分析大气 PM_{10} 与医院心脑血管疾病急诊的相关关系,以此探讨 PM_{10} 对心脑血管疾病的影响。

资料与方法

1. 资料来源:

(1) 心脑血管疾病急诊数据: 心脑血管疾病急诊资料来源于北京大学第三医院病案记录,包括 2004 年 6 月 1 日至 2006 年 12 月 31 日每日急诊资料。急诊病案具体内容: 急诊就诊者急诊病历号、急诊就诊科室、病例来源(海淀区或其他区/外省市/外国)、性别、出生日期、年龄、身份证号、职业、住址、电话、来诊日期、来诊时间、初步诊断。疾病分类采用国际统一的疾病分类方法(ICD-10)。选取总心脑血管疾病(ICD-10: I00-I99)、冠心病(ICD-10: I20-I25)、心律失常(ICD-10: I47-I49)、心衰(ICD-10: I50)和脑血管疾病(ICD-10: I60-I69)等作为分析的健康效应终点。

北京大学第三医院位于北京市海淀区,为三级甲等医院。95%的总心脑血管疾病急诊为海淀区居民,其他区以及外省市的居民占 5%。由于是急诊资料,急诊病例一般应是当地的居民、或者在此长期居住的外地人,因此用当地的污染暴露分析 PM_{10} 对心脑血管疾病急诊的影响。

(2) 气象资料: 来源于中国科学院大气物理研究所,为日常监测收集的气象数据,包括 2004 年 6 月 1 日至 2006 年 12 月 31 日期间的日均温度、日均相对湿度。日均值计算方法为每天 24 h 整点数据值相加后计算算术平均值。

(3) 大气污染数据: 大气污染物二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)、 PM_{10} 的资料来源于北京市环境监测中心,包括 2004 年 6 月 1 日至 2006 年 12 月 31 日期间的日平均浓度。其中 2005-2006 年期间的日均浓度是根据 API 指数换算所得。

2. 研究设计: 美国学者 Maclure^[21] 1991 年提出病例交叉设计的概念,以研究短期暴露对急性健康效应的影响,即每个病例就是自己的对照,其基本思想就是比较同一研究对象在事件发生前(时)的暴露情况和未发生事件的某段时间内的暴露情况。根据病例交叉研究,每例病例可以看作是病例交叉研究中的一层,病例和对照分别是事件发生前的一段时间和病例期外特定的一段时间。由于是自身对照,可控制与个体特征有关的混杂因素,如年龄、性别、吸烟情况及营养状况等。同时,因为研究对象的病例期与对照期相隔很近,从设计上控制了季节的混杂。近年来,病例交叉设计已被用于研究大气污染的短期健康效应^[22]。因此,本研究采用配对设计的病例交叉分析方法(条件 logistic 回归)比较病例期和对照期的大气 PM_{10} 污染暴露水平的差异。

本研究采用单向回顾性病例交叉设计,分别选择疾病发生前 1~6 周的时间作为对照进行大气污染水平的比较。选择以周的倍数作为时间间隔,可以控制“星期几效应”(day of the week)。同时,也考虑到大气 PM_{10} 浓度升高对心脑血管疾病急诊影响的滞后效应,分别观察大气 PM_{10} 浓度升高后 0~3 d 的心脑血管疾病急诊的变化。

3. 统计学分析: 采用条件 logistic 回归模型,以每日心脑血管疾病急诊人次作为权重,应用 SPSS 13.0 软件的 Cox 回归进行拟合^[23],分析心脑血管疾病每日急诊病例在病例期与对照期大气 PM_{10} 暴露的 OR 值。考虑到所选 PM_{10} 当日的气象因素(气温和相对湿度)对心脑血管疾病发病的影响^[24,25],将气温和相对湿度作为协变量与 PM_{10} 同时引入回归模型。首先根据 PM_{10} 单污染物模型的最大 OR 值确定最佳滞后期;在最佳滞后期的基础上,根据 PM_{10} 单污染物模型的 OR 值确定最佳配对设计。

结 果

1. 研究期间心脑血管病急诊病例、大气污染物浓度以及气象条件: 如表 1 所示,2004 年 6 月 1 日至 2006 年 12 月 31 日期间的大气污染物 SO_2 、

NO₂、PM₁₀ 的年平均值分别为 49.32 μg/m³、68.25 μg/m³、150.15 μg/m³, 其中 SO₂ 和 NO₂ 年均浓度均符合国家空气质量二级标准(60 μg/m³ 和 80 μg/m³) 的要求, PM₁₀ 年均浓度则超过国家二级标准(100 μg/m³) 的 50%^[26]; 年平均温度为(14.08 ± 10.12)℃, 最高、最低温度分别是 32.90℃、-8.7℃; 年均相对湿度为 49.01%。

研究期间共有 8377 例心脑血管疾病急诊病例, 平均每天 8.87 例, 标准差(*s*) 为 3.797, 其中冠心病、心律失常、心衰以及脑血管疾病的每天平均急诊病例分别为 1.353、1.154、0.616、2.169 例。研究期间冠心病、心律失常、心衰和脑血管疾病占总心脑血管疾病急诊病例的比例分别为 16.76%、13.72%、3.90% 和 35.7%, 其中脑血管疾病急诊病例最多(35.7%), 心衰急诊病例数最少(3.90%)。

2. 研究期间大气污染物与气象条件之间的 Pearson 相关分析: 如表 2 所示, PM₁₀、SO₂ 和 NO₂ 之间存在明显正相关(*P* < 0.05), PM₁₀ 与温度、相对湿度为正相关, PM₁₀ 与温度的相关性无统计学意义; SO₂ 与温度、湿度之间为负相关(*P* < 0.05); NO₂ 与温度之间存在负相关(*P* < 0.05), 而与相对湿度之间存在正相关(*P* < 0.05)。提示研究过程中应当控制其他污染物的影响。

3. 大气 PM₁₀ 浓度对心脑血管疾病急诊影响的滞后效应: 在控制所选 PM₁₀ 当日气温、相对湿度影响的情况下, 单向回顾性 1:1 病例交叉分析的结果如表 3 所示。当日 PM₁₀ 污染对心脑血管疾病、冠心病、心律失常和脑血管疾病急诊影响的 OR 值最

大, 每升高 10 μg/m³ 其 OR 值分别是 1.003 (95% CI: 0.999~1.006)、1.001 (95% CI: 0.992~1.010)、1.002 (95% CI: 0.993~1.012)、1.001 (95% CI: 0.995~1.007), 差异均无统计学意义; PM₁₀ 滞后 3 d 的浓度对心衰急诊影响的 OR 值最大, 每升高 10 μg/m³ OR 值为 1.016 (95% CI: 0.998~1.034), 差异无统计学意义。下面的研究中我们选择急诊当天的 PM₁₀ 浓度(即无滞后)分析大气 PM₁₀ 污染对心脑血管疾病急诊的影响。

4. 不同配对比例对大气 PM₁₀ 与心脑血管疾病急诊相关性的影响: 选择急诊当日(无滞后)大气 PM₁₀ 浓度, 并控制当日气温、相对湿度影响, 运用单向回顾性 1:1~1:6 配对病例交叉设计进行分析(无滞后单向回顾性病例交叉设计)。结果如表 4 所示, 应用无滞后单向回顾性病例交叉设计时, 随着配对数的增多, PM₁₀ 与各心脑血管疾病急诊关联的 OR 值有增大趋势, 但是当配对数超过 1:4 时, OR 值的增加不再明显; 所以在以下的研究中选择单向回顾性 1:4 病例交叉设计探讨 PM₁₀ 对心脑血管疾病急诊的影响。结果表明: PM₁₀ 浓度每升高 10 μg/m³ 与总心脑血管疾病急诊和心衰急诊的 OR 值分别为 1.006 (95% CI: 1.003~1.008) 和 1.019 (95% CI: 1.005~1.033), 关联有统计学意义(*P* < 0.05); 与冠心病、心律失常和脑血管疾病急诊关联的 OR 值分别为 1.003 (95% CI: 0.996~1.010)、1.005 (95% CI: 0.997~1.013) 和 1.003 (95% CI: 0.998~1.007), 关联无统计学意义(*P* > 0.05)。大气 PM₁₀ 污染物浓度升高会导致总心脑血管疾病急诊和心衰急诊的增多。

表1 研究期间心脑血管疾病急诊病例、大气污染物浓度以及气象条件频率分布

指标	频率分布			最小值	最大值	$\bar{x} \pm s$
	P25	P50	P75			
污染物浓度(μg/m ³)						
SO ₂	17.00	30.32	62.11	5.00	293.00	49.32 ± 49.17
NO ₂	52.32	64.00	79.34	14.40	214.40	68.25 ± 25.52
PM ₁₀	84.86	134.00	189.79	10.00	600.00	150.15 ± 94.09
气象条件						
温度(℃)	5.80	14.50	22.90	-8.70	32.90	14.08 ± 10.12
相对湿度(%)	35.00	47.00	62.00	0.00	100.00	49.01 ± 18.91
总心脑血管疾病						
冠心病	6.00	9.00	11.00	0.00	26.00	8.87 ± 3.80
心律失常	0.00	1.00	2.00	0.00	7.00	1.49 ± 1.35
心衰	0.00	0.00	1.00	0.00	5.00	0.35 ± 0.62
脑血管疾病	2.00	3.00	4.00	0.00	12.00	3.17 ± 2.17
其他 ^a	1.00	2.00	4.00	0.00	12.00	2.65 ± 2.06

注:^a 指除冠心病、心律失常、心衰、脑血管疾病之外的心脑血管疾病

表2 研究期间北京市大气污染物、气象条件之间的

Pearson 相关分析					
项目	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	温度	湿度
SO ₂	1				
NO ₂	0.526 ^a	1			
PM ₁₀	0.384 ^a	0.690 ^a	1		
温度	-0.616 ^a	-0.068 ^a	0.001	1	
相对湿度	-0.083 ^a	0.187 ^a	0.079 ^a	0.345 ^a	1

注：^a 相关性具有统计学意义， $P < 0.05$

表3 研究期间北京市大气 PM₁₀ 浓度与心脑血管疾病急诊的 OR 值(每增加 10 μg/m³ 的 OR 值)^a

疾病种类	滞后天数	PM ₁₀
		OR 值(95% CI) ^a
总心脑血管疾病	0	1.003(0.999~1.006)
	1	1.002(0.998~1.005)
	2	1.001(0.998~1.005)
	3	1.001(0.997~1.004)
冠心病	0	1.001(0.992~1.010)
	1	0.998(0.990~1.007)
	2	0.999(0.990~1.008)
	3	0.999(0.990~1.008)
心律失常	0	1.002(0.993~1.012)
	1	0.994(0.985~1.004)
	2	0.995(0.985~1.005)
	3	0.998(0.988~1.009)
心衰	0	1.012(0.994~1.031)
	1	1.004(0.986~1.023)
	2	1.007(0.988~1.025)
	3	1.016(0.998~1.034)
脑血管疾病	0	1.001(0.995~1.007)
	1	1.001(0.995~1.007)
	2	1.003(0.997~1.009)
	3	0.999(0.993~1.006)

注：^a 纳入模型的变量为滞后 0~3 d 的值，控制当日气温、相对湿度的影响，应用单向回顾性 1:1 配对设计

讨 论

本次研究结果显示，大气 PM₁₀ 浓度升高可以导致当日的总心脑血管疾病、冠心病、心律失常、心衰和脑血管疾病的急诊增加，其中 PM₁₀ 与总心脑血管疾病急诊和心衰急诊的关联有统计学意义 ($P <$

0.05)，与其他心脑血管疾病病种急诊的关联无统计学意义。本研究的结果和台湾 Chan 等^[27] 所做的有关空气污染与急诊住院的研究进行比较，两次研究的结果相一致，尤其是 PM₁₀ 对脑血管疾病的影响。本次研究结果显示，应用无滞后单向回顾性 1:4 病例交叉设计时，PM₁₀ 浓度每升高 10 μg/m³ 对脑血管疾病急诊影响的 OR 值为 1.001 (95% CI: 0.995~1.007)，Chan 等运用泊松回归模型研究的结果是 OR 值为 1.001 (95% CI: 0.969~1.033)。

大气 PM₁₀ 浓度升高可以导致总心脑血管疾病急诊以及心衰急诊的增加，将会增加总心脑血管疾病以及心衰的发病风险。而心衰急诊人次在总心脑血管疾病急诊中所占比例最少，可见心衰的发病对总心脑血管疾病发病影响相当大。美国加州大学的 Mann 等^[28] 研究发现在调整时间、气温和湿度的情况下，大气 PM₁₀ 浓度变化和心衰及心律失常发病有关联，并且认为心衰和心律不齐患者是对空气污染敏感的亚人群，容易受到大气污染的健康损害。

急诊当日的 PM₁₀ 对心脑血管急诊的影响最大，并且在 1:4 配对时效应值达到最大。病例交叉研究和病例对照研究的配对方式相似，病例对照研究在对子数达到 1:4 时效应值也达到最佳。病例交叉设计虽然不涉及复杂的数学模型，但是可以控制许多偏倚，如对照期和病例期的选择会对结果产生相当大的影响^[29]。因此本研究选择无滞后单向回顾性 1:4 对照设计。

在本研究中，发现单污染物模型时大气 PM₁₀ 污染对心脑血管疾病急诊的影响高于多污染物模型(分别控制 NO₂、SO₂ 以及同时控制 NO₂ 和 SO₂)，可能是因为 PM₁₀ 与 SO₂、NO₂ 之间存在共线性，从而使 OR 值降低。

采用心脑血管疾病急诊作为研究对象评价 PM₁₀ 对心脑血管疾病影响的优点：当心脑血管疾病发作时，患者会选择立即到医院急诊室就诊，所以急

表4 研究期间北京市每日大气 PM₁₀ 与心脑血管疾病急诊的 OR 值(每增加 10 μg/m³ 的 OR 值)^a

配比	OR 值(95% CI) ^a				
	总心脑血管疾病	冠心病	心律失常	心衰	脑血管疾病
1:2	1.003(1.000~1.006)	1.003(0.995~1.010)	1.000(0.992~1.009)	1.013(0.998~1.029)	1.001(0.995~1.006)
1:3	1.005(1.002~1.007) ^b	1.004(0.996~1.011)	1.003(0.995~1.011)	1.020(1.006~1.035) ^b	1.002(0.997~1.007)
1:4	1.006(1.003~1.008) ^b	1.003(0.996~1.010)	1.005(0.997~1.013)	1.019(1.005~1.033) ^b	1.003(0.998~1.007)
1:5	1.006(1.004~1.009) ^b	1.004(0.997~1.011)	1.006(0.998~1.013)	1.020(1.007~1.033) ^b	1.003(0.998~1.008)
1:6	1.007(1.004~1.009) ^b	1.003(0.997~1.010)	1.006(0.999~1.014)	1.020(1.007~1.034) ^b	1.003(0.998~1.008)

注：^a 纳入模型的变量均为滞后 0 d 的值，控制当日气温、相对湿度的影响，应用单向回顾性对照设计；^b OR 值具有统计学意义， $P < 0.05$

诊可以有效评价空气污染对疾病发作的短期效应; 但仍有其局限性, 如急诊资料不完整, 年龄、性别、职业等一般情况容易缺失, 导致分析资料时不能分层分析; 有的病例初步诊断不明确, 造成病例不能被利用, 致使样本量减少, 影响研究效率。在本研究中, 天数项出现了零病例数的情况, 导致研究效能的下降。解决这一问题的办法是增加样本量, 或在样本量固定的情况下增加配对数, 由于本研究结果显示当对子数达到 1:4 时, 统计学效能已经达到或者接近最大, 即使再增加对子数, 效果也不是很理想。进一步的研究应该把初步诊断不明确、原因待查的部分病例按照症状运用特尔斐法重新进行诊断, 这样可以在一定程度增加样本量。尽管本研究存在以上局限性, 结果提示大气 PM₁₀ 浓度升高与心脑血管疾病急诊增加有密切相关。

(感谢北京大学第三医院急诊科对本文的贡献)

参 考 文 献

- [1] Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for the elderly in Birmingham, Alabama. *Am J Epidemiol*, 1994, 139: 589-598.
- [2] Ostro B, Chestnut L, Vichit-Vadakan N, et al. The impact of particulate matter on daily mortality in Bangkok, Thailand. *J Air Waste Manag Assoc*, 1999, 49: 100-107.
- [3] Samet JM, Zeger SL, Dominici F, et al. The national morbidity, mortality, and air pollution study. Part II: morbidity and mortality from air pollution in the United States. *Res Rep Health Eff Inst*, 2000, 94: 65-70.
- [4] Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, et al. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology*, 2001, 12: 521-531.
- [5] Le Tertre A, Medina S, Samoli E, et al. Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities. *J Epidemiol Community Health*, 2002, 56: 773-779.
- [6] Peters A, Dockery DW, Muller JE, et al. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction. *Circulation*, 2001, 103: 2810-2815.
- [7] Braga AL, Zanobetti A, Schwartz J. The lag structure between particulate air pollution and respiratory and cardiovascular deaths in 10 US cities. *J Occup Environ Med*, 2001, 43(11): 927-933.
- [8] Mann JK, Tager IB, Lurmann F, et al. Air pollution and hospital admissions for ischemic heart disease in persons with congestive heart failure or arrhythmia. *Environ Health Perspect*, 2002, 110: 1247-1252.
- [9] Zanobetti A, Schwartz J. The effect of particulate air pollution on emergency admissions for myocardial infarction: a multi-city case-crossover analysis. *Environ Health Perspect*, 2005, 113: 978-982.
- [10] Hong YC, Lee JT, Kim H, et al. Air pollution: a new risk factor in ischemic stroke mortality. *Stroke*, 2002, 33: 2165-2169.
- [11] Laden F, Neas LM, Dockery DW, et al. Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities. *Environ Health Perspect*, 2000, 108: 941-947.
- [12] 任艳军, 离休央, 陈坤, 等. 大气颗粒物污染与心血管病死亡的病例交叉研究. *中国环境科学*, 2007, 27(5): 657-660.
- [13] 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. *疾病监测*, 2007, 22(8): 556-559.
- [14] 贾健, 阙海东, 陈秉衡, 等. 上海市闸北区大气污染与死亡率的病例交叉研究. *环境与健康*, 2004, 21(5): 279-282.
- [15] 阙海东, 陈秉衡, 贾健. 上海市大气污染与居民每日死亡关系的病例交叉研究. *中华流行病学杂志*, 2003, 24(10): 863-867.
- [16] Wordley J, Walters S, Ayres JG. Short term variations in hospital admissions and mortality and particulate air pollution. *Occup Environ Med*, 1997, 54: 108-116.
- [17] Ponka A, Virtanen M. Low-level air pollution and hospital admissions for cardiac and cerebrovascular diseases in Helsinki. *Am J Public Health*, 1996, 86: 1273-1280.
- [18] Ballester F, Tenias JM, Perez-Hoyos S. Air pollution and emergency hospital admissions for cardiovascular diseases in Valencia, Spain. *J Epidemiol Community Health*, 2001, 55: 57-65.
- [19] Tsai SS, Goggins WB, Chiu HF, et al. Evidence for an association between air pollution and daily stroke admissions in Kaohsiung, Taiwan. *Stroke*, 2003, 34: 2612-2616.
- [20] Wellenius GA, Schwartz J, Mittleman MA. Air pollution and hospital admissions for ischemic and hemorrhagic stroke among medicare beneficiaries. *Stroke*, 2005, 36: 2549-2553.
- [21] Maclure M. The case-crossover design: a method for studying transient effects on the risk of acute events. *Am J Epidemiol*, 1991, 133(2): 144-153.
- [22] Jaakkola JJ. Case-crossover design in air pollution epidemiology. *Eur Respir J*, 2003, 21(40 Suppl): S81-85.
- [23] 张文彬. SPSS 11 统计分析教程(高级篇). 北京: 北京希望电子出版社, 2002: 313-315.
- [24] Braga AL, Zanobetti A, Schwartz J. The time course of weather related deaths. *Epidemiology*, 2001, 12(6): 662-667.
- [25] Curriero FC, Heiner KS, Samet JM, et al. Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *Am J Epidemiol*, 2002, 155: 80-87.
- [26] GB 3095-1996. 国家环境空气质量标准.
- [27] Chan CC, Chuang KJ, Chien LC, et al. Urban air pollution and emergency admissions for cerebrovascular diseases in Taipei, Taiwan. *Eur Heart J*, 2006, 27: 1238-1244.
- [28] Mann JK, Tager IB, Lurmann F, et al. Air pollution and hospital admissions for ischemic heart disease in persons with congestive heart failure or arrhythmia. *Environ Health Perspect*, 2002, 110(12): 1247-1252.
- [29] Mittleman MA, Maclure M, Robins JM. Control sampling strategies for case-crossover studies: an assessment of relative efficiency. *Am J Epidemiol*, 1995, 142: 91-98.

(收稿日期: 2008-07-03)

(本文编辑: 张林东)