

# 50 岁及以上人群手握力与空气污染的关联研究

郭雁飞<sup>1</sup> 阮晔<sup>1</sup> 林华亮<sup>2</sup> 马文军<sup>3</sup> 张庆军<sup>4</sup> 孙双圆<sup>1</sup> 黄哲宙<sup>1</sup> 郑杨<sup>1</sup> 施燕<sup>1</sup> 吴凡<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>上海市疾病预防控制中心 200336; <sup>2</sup>中山大学公共卫生学院流行病学系, 广州 510080; <sup>3</sup>广东省公共卫生研究院, 广州 511430; <sup>4</sup>湖北省疾病预防控制中心, 武汉 430079; <sup>5</sup>复旦大学上海医学院 200032

通信作者: 吴凡, Email: wufan@shmu.edu.cn

**【摘要】** 目的 分析室内、外空气污染与≥50 岁人群手握力的关联。方法 采用 WHO 全球老龄化与成人健康研究中国项目第一轮基线调查, 室外空气污染以 PM<sub>2.5</sub> 平均浓度(基于卫星遥感数据进行估计)进行描述, 室内空气污染通过燃料和烟囱使用情况进行描述, 采用两水平(个体层面和社区层面)线性模型分析室内、外空气污染与中国≥50 岁人群手握力的关系。结果 共纳入 13 175 名≥50 岁中老年人。手握力为(26.67±0.54)kg。调整性别、年龄、居住地区、文化程度、家庭经济水平、水果蔬菜摄入状况、吸烟、饮酒和体力活动后, 室外 PM<sub>2.5</sub> 浓度与手握力呈负相关( $\beta=-0.23$ , 95%CI: -0.31 ~ -0.14)。在农村, 相比使用固体燃料(非清洁), 使用清洁燃料可以提高手握力值( $\beta=1.41$ , 95%CI: 0.36 ~ 2.46)。但在城市地区, 未发现使用清洁燃料对手握力值有显著影响( $\beta=0.19$ , 95%CI: -0.95 ~ 1.32)。结论 室外 PM<sub>2.5</sub> 与室内污染合并暴露与≥50 岁人群低手握力显著相关, 提示了慢性长期空气污染暴露有可能是我国中老年人较低机体功能的重要危险因素之一。

**【关键词】** 空气污染; 手握力

**基金项目:** 美国国立老化研究所资助项目(R01-AG034479); 上海市卫生和计划生育委员会科研项目(201640148, 201840118, 20174Y0147)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.10.013

## Association between low handgrip strength and air pollution among people aged 50 years and over

Guo Yanfei<sup>1</sup>, Ruan Ye<sup>1</sup>, Lin Hualiang<sup>2</sup>, Ma Wenjun<sup>3</sup>, Zhang Qingjun<sup>4</sup>, Sun Shuangyuan<sup>1</sup>, Huang Zhezhou<sup>1</sup>, Zheng Yang<sup>1</sup>, Shi Yan<sup>1</sup>, Wu Fan<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China; <sup>2</sup>Department of Epidemiology, School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China; <sup>3</sup>Guangdong Provincial Institute of Public Health, Guangzhou 511430, China; <sup>4</sup>Hubei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Wuhan 430079, China; <sup>5</sup>Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China

Corresponding author: Wu Fan, Email: wufan@shmu.edu.cn

**【Abstract】 Objective** To examine the association between long-term exposure to ambient PM<sub>2.5</sub> combined with indoor air pollution and handgrip strength among people aged 50 and over. **Methods** Data were from the first wave of World Health Organization Study on global AGEing and adult health in China. Ambient annual concentration of PM<sub>2.5</sub> was estimated by using the satellite data we also investigated the use of fuels and chimneys as indoor air pollution. A two-level (individual level and community level) linear model was applied to examine the association between long-term exposure to ambient PM<sub>2.5</sub> combined with indoor air pollution and the handgrip strength. **Results** A total of 13 175 individuals aged 50 years and over were included for analysis. The handgrip strength was (26.67 ± 0.54) kg. Ambient PM<sub>2.5</sub> was found to be significantly associated with the risk of decreased handgrip strength. Outdoor PM<sub>2.5</sub> concentration was negatively correlated with handgrip strength ( $\beta=-0.23$ , 95%CI: -0.31 ~ -0.14) decrease in handgrip strength after adjusting for gender, age, residence, education, household assets, intake of vegetables and fruits, smoking and drinking, physical activity. In rural area, compared to those who used solid fuel, use of clean fuel increased ( $\beta=1.41$ , 95%CI: 0.36-2.46) handgrip strength. But in urban area, we did not find any statistically significant

association between the use of clean fuel and handgrip strength ( $\beta=0.19$ , 95% *CI*: -0.95-1.32). **Conclusion** This study found that long-term exposure to ambient  $PM_{2.5}$  combined with indoor air pollution was significantly associated with low handgrip strength among people aged 50 years and over, this suggested that ambient  $PM_{2.5}$  might serve as one of the risk factors for low physical function seen in the people aged 50 years and over.

**【Key words】** Air pollution; Handgrip strength

**Fund programs:** Project Funded by US National Institute on Aging (R01-AG034479); Foundation of Shanghai Municipal Commission of Health and Family Planning (201640148, 201840118, 20174Y0147)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.10.013

老年人群衰老的一个重要标志是身体机能出现明显的下降,表现为认知功能下降、骨质下降、肌力下降和日常生活能力的下降等<sup>[1]</sup>。手握力是评价上肢力量的主要指标之一,有研究发现手握力是老年人多种健康结局的预测因子<sup>[2]</sup>。一项前瞻性研究发现手握力测量对法国老年女性,尤其是健康状况良好的女性死亡率有很好的预测价值<sup>[3]</sup>。同时,老年人手握力也受到多种生物、行为和环境因素的影响,有研究发现童年时期的社会经济地位和社会收入不均等与手握力密切相关<sup>[4-5]</sup>。此外,一些环境污染物也被认为是老年人群机体功能的危险因素,有研究发现血镉浓度、血铅浓度均与较低手握力有关<sup>[6]</sup>。本研究对空气污染与 $\geq 50$ 岁人群手握力的关系进行分析。

## 资料与方法

1. 资料来源:来源于WHO全球老龄化与成人健康研究(SAGE)中国项目第一轮基线调查(2007-2010年)。具体调查方法参见文献<sup>[7]</sup>。本研究选取 $\geq 50$ 岁人群作为研究对象。排除基本特征变量(年龄、性别、文化程度、家庭经济水平五分位)缺失者。本研究在现场调查阶段进行严格的质量控制<sup>[8]</sup>。本研究通过WHO和上海市CDC伦理委员会审查,调查对象均签署知情同意书。

### 2. 研究方法:

(1)手握力:采用丹麦Smedley手握力计测量调查对象的手握力。每只手各测2次,以每只手的最佳结果的平均值计算总手握力。如果调查对象的手或胳膊有明显问题,则不用参加手握力测试。测量结果以kg作为单位。

(2)室外 $PM_{2.5}$ 浓度:由于研究缺乏调查前全国范围内地面空气监测数据,本研究使用遥感数据估算年均 $PM_{2.5}$ 浓度,估算后将 $PM_{2.5}$ 浓度同中国几个空气监测站估算和监测的 $PM_{2.5}$ 浓度进行比较,结果显示高度相关性( $r=0.9$ )<sup>[9]</sup>。最近1项研究比较 $PM_{2.5}$ 地表监测数据和遥感估计数据对健康的影响,也显示一致效应<sup>[10]</sup>。本研究使用调查前3年的 $PM_{2.5}$ 平均

浓度作为模型中的暴露变量,并同时敏感性分析中分别使用调查前1、2、3、4和5年的平均浓度作为暴露变量。室内污染主要根据是否使用清洁能源和是否有防烟尘设施进行评价。

(3)混杂因素:从SAGE调查内容中选取性别、年龄、居住地区、文化程度、家庭经济水平、水果蔬菜摄入状况、吸烟、饮酒和体力活动等信息进行分析。

3. 统计学分析:采用Stata 14.1软件进行统计学分析。手握力在不同特征间的差异比较采用方差分析,并进行趋势检验。为消除样本和总体人群年龄、性别等结构差异,在模型中使用复杂抽样加权对结果进行调整,抽样权重采用我国2010年人口普查数据进行性别、年龄、地区的事后分层调整。因为数据具有明显的层次结构,故本研究采用两水平(个体层面和社区层面)线性模型分析环境颗粒物合并室内环境污染对手握力的影响(“mixed”命令进行分析)。分别对性别、年龄、地区进行分层分析,构建2个模型:模型1(只纳入室外 $PM_{2.5}$ 浓度和混杂因素)、模型2(纳入室外 $PM_{2.5}$ 浓度和混杂因素以及室内空气污染变量)。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 结果

1. 一般情况:起始入组13 408名 $\geq 50$ 岁调查对象,排除未能完成问卷的调查对象233名,共13 175名 $\geq 50$ 岁的调查对象进入分析。其中“调查对象的手或胳膊有明显问题”或未能参加体格检查的调查对象共873例。调查对象的年龄为( $62.6 \pm 0.3$ )岁,全人群手握力值为( $26.67 \pm 0.54$ ) kg。随着年龄增大,手握力值逐渐减小( $P<0.05$ )。男性手握力值高于女性。文化程度为大学及以上组手握力值最小( $P<0.05$ ),城市调查对象的手握力值略高于农村。见表1。

2. 室外 $PM_{2.5}$ 浓度与手握力关系:在城市地区,本次调查前3年的 $PM_{2.5}$ 浓度为 $34.314 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,在农村地区, $PM_{2.5}$ 浓度为 $31.576 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。见表2。在总人群

表 1 手握力值在城乡分布状况

因素	城市(n=6 429)		农村(n=6 748)		合计(n=13 177)	
	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
年龄组(岁)						
50~	30.21	0.79	29.43	0.78	29.74	0.56
60~	27.78	0.64	24.76	0.89	26.14	0.57
70~	23.03	0.75	20.31	0.81	21.91	0.56
≥80	20.04	1.36	17.18	0.92	18.66	0.79
方差分析	$F=120.87, P<0.001$		$F=270.86, P<0.001$		$F=326.66, P<0.001$	
趋势检验	$Z=-19.70, P<0.001$		$Z=-26.54, P<0.001$		$Z=-31.45, P<0.001$	
性别						
男	34.25	0.74	31.71	0.87	32.77	0.59
女	21.51	0.49	19.88	0.78	20.69	0.46
方差分析	$F=1 774.23, P<0.001$		$F=2 702.56, P<0.001$		$F=4 142.31, P<0.001$	
文化程度						
小学以下	24.14	0.61	23.78	0.80	23.88	0.60
小学	28.54	0.76	28.21	1.03	28.35	0.67
初中	29.63	0.93	30.07	0.97	29.81	0.68
高中	27.40	0.80	31.98	1.55	28.44	0.71
大学及以上	26.12	1.33	38.54	2.90	26.24	1.32
方差分析	$F=39.82, P<0.001$		$F=159.44, P<0.001$		$F=188.48, P<0.001$	
趋势检验	$Z=8.44, P<0.001$		$Z=22.47, P<0.001$		$Z=20.30, P<0.001$	
家庭经济水平						
第一分位(最低)	27.88	0.99	24.43	1.02	25.31	0.78
第二分位	28.85	0.73	25.32	0.78	26.34	0.61
第三分位	28.82	0.84	25.74	1.02	27.06	0.69
第四分位	26.91	0.71	27.95	1.19	27.43	0.71
第五分位(最高)	25.96	0.91	30.37	0.74	26.97	0.72
方差分析	$F=11.25, P<0.001$		$F=37.89, P<0.001$		$F=19.16, P<0.001$	
趋势检验	$Z=-5.50, P<0.001$		$Z=11.67, P<0.001$		$Z=6.09, P<0.001$	
水果蔬菜摄入充足						
是	26.61	0.50	26.32	1.05	26.45	0.62
否	28.43	1.00	25.90	0.63	27.08	0.58
方差分析	$F=2.78, P=0.096$		$F=25.69, P<0.001$		$F=6.88, P=0.009$	
饮酒						
从不饮酒	25.08	0.60	23.15	0.87	24.12	0.53
非重度饮酒	33.38	0.91	31.13	0.78	31.98	0.59
重度饮酒	37.40	1.30	32.55	1.04	33.45	0.89
方差分析	$F=202.39, P<0.001$		$F=382.30, P<0.001$		$F=496.19, P<0.001$	
趋势检验	$Z=19.89, P<0.001$		$Z=25.58, P<0.001$		$Z=30.81, P<0.001$	
吸烟						
从不吸烟	24.42	0.63	22.31	0.78	23.39	0.50
目前不吸烟	32.89	0.93	30.24	0.93	31.61	0.66
吸,但不是每日吸烟	34.41	1.70	29.94	1.44	31.70	1.15
目前每日吸烟	34.38	0.78	31.57	0.97	32.51	0.69
方差分析	$F=268.38, P<0.001$		$F=396.57, P<0.001$		$F=588.71, P<0.001$	
趋势检验	$Z=27.86, P<0.001$		$Z=31.57, P<0.001$		$Z=40.46, P<0.001$	
体力活动水平						
低	29.45	0.59	27.80	0.97	28.40	0.65
中	27.05	0.87	25.11	0.71	26.31	0.61
高	24.71	0.95	23.69	0.85	24.16	0.63
方差分析	$F=43.53, P<0.001$		$F=94.49, P<0.001$		$F=121.66, P<0.001$	
趋势检验	$Z=-10.39, P<0.001$		$Z=-13.41, P<0.001$		$Z=-16.35, P<0.001$	
燃料						
非清洁	29.13	1.27	25.94	0.95	26.13	0.90
清洁	27.13	0.63	27.66	0.82	27.21	0.55
方差分析	$F=7.00, P=0.008$		$F=3.19, P=0.074$		$F=17.64, P<0.001$	
烟囱						
无	27.31	0.64	27.45	0.76	27.33	0.55
有	26.36	2.23	25.95	0.95	25.97	0.91
方差分析	$F=0.21, P=0.646$		$F=0.86, P=0.353$		$F=35.56, P<0.001$	
合计	27.26	0.61	26.17	0.85	26.67	0.54

中,未调整任何混杂因素的情况下,室外PM<sub>2.5</sub>浓度与手握力值呈负相关( $\beta=-0.22, 95\% CI: -0.31 \sim -0.14$ ),在调整性别、年龄、居住地区、文化程度、家庭经济水平五分位资产情况、水果蔬菜摄入状况、吸烟、饮酒和体力活动后,回归系数变化不大( $\beta=-0.22, 95\% CI: -0.31 \sim -0.14$ )。在模型2调整室内污染后,回归系数为-0.23,即PM<sub>2.5</sub>浓度每上升1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,手握力值下降0.23 kg。分别对性别、年龄和地区进行分层分析,结果也显示环境颗粒物PM<sub>2.5</sub>均与手握力值呈负相关。此外,在城市,室外PM<sub>2.5</sub>浓度每上升1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,手握力值下降0.27 kg,而在农村,手握力值下降0.16 kg。在农村,相比使用固体燃料(非清洁),使用清洁燃料可以提高手握力值1.41 kg( $\beta=1.41, 95\% CI: 0.36 \sim 2.46$ )。但在城市地区,未发现使用清洁燃料对手握力值有显著影响( $\beta=0.19, 95\% CI: -0.95 \sim 1.32$ )。见表3。

### 讨 论

本研究利用SAGE调查数据13 157名≥50岁社区人群样本分析环境PM<sub>2.5</sub>与室内空气污染合并暴露与手握力的关联关系,结果显示,随着室外PM<sub>2.5</sub>浓度的增加,手握力值呈下降趋势。在农村地区,使用清洁燃料则可以提高手握力值。

国际上关于空气污染与老年人群功能指标的研究相对较少,韩国1项研究分析了2012—2015年完成3项调查的983名老年参与者的数据,发现在调整潜在的混杂因素后,血镉浓度与抑郁和较低手握力值有关。而抑郁状态部分地介导了镉水平与手握力之间的关联强度<sup>[11]</sup>。

**表2** 调查前3年地区室外PM<sub>2.5</sub>浓度(μg/m<sup>3</sup>)

地区	$\bar{x}$	s	最小值	最大值
城市	34.314	15.309	10.657	55.528
农村	31.576	11.853	13.718	52.349
合计	32.912	13.717	10.657	55.528

**表3** 我国环境颗粒物PM<sub>2.5</sub>浓度、室内空气污染与≥50岁人群握力关系分层分析

暴露因素	模型1		模型2	
	aOR值(95%CI)	P值	aOR值(95%CI)	P值
合计				
室外PM <sub>2.5</sub> 浓度	-0.22(-0.31 ~ -0.14)	<0.001	-0.23(-0.31 ~ -0.14)	<0.001
燃料				
非清洁			1.00	
清洁			0.84(0.81 ~ 1.61)	0.030
烟囱				
无			1.00	
有			0.15(-0.50 ~ 0.80)	0.647
性别				
男				
室外PM <sub>2.5</sub> 浓度	-0.22(-0.31 ~ -0.13)	<0.001	-0.22(-0.31 ~ -0.13)	<0.001
燃料				
非清洁			1.00	
清洁			1.07(-0.12 ~ 2.25)	0.079
烟囱				
无			1.00	
有			0.39(-0.58 ~ 1.37)	0.432
女				
室外PM <sub>2.5</sub> 浓度	-0.22(-0.31 ~ -0.14)	<0.001	-0.22(-0.31 ~ -0.14)	<0.001
燃料				
非清洁			1.00	
清洁			0.64(-0.18 ~ 1.46)	0.124
烟囱				
无			1.00	
有			-0.07(-0.83 ~ 0.68)	0.846
年龄组(岁)				
50 ~				
室外PM <sub>2.5</sub> 浓度	-0.23(-0.32 ~ -0.14)	<0.001	-0.23(-0.32 ~ -0.14)	<0.001
燃料				
非清洁			1.00	
清洁			0.77(-0.18 ~ 1.72)	0.111
烟囱				
无			1.00	
有			0.11(-0.74 ~ 0.96)	0.803
≥65				
室外PM <sub>2.5</sub> 浓度	-0.22(-0.31 ~ -0.14)	<0.001	-0.22(-0.31 ~ -0.14)	<0.001
燃料				
非清洁			1.00	
清洁			0.27(-1.01 ~ 1.54)	0.681
烟囱				
无			1.00	
有			-0.29(-1.28 ~ 0.69)	0.558
地区				
城市				
室外PM <sub>2.5</sub> 浓度	-0.27(-0.39 ~ -0.15)	<0.001	-0.27(-0.39 ~ -0.15)	<0.001
燃料				
非清洁			1.00	
清洁			0.19(-0.95 ~ 1.32)	0.746
烟囱				
无			1.00	
有			0.37(-0.54 ~ 1.28)	0.425
农村				
室外PM <sub>2.5</sub> 浓度	-0.14(-0.25 ~ -0.04)	0.005	-0.16(-0.26 ~ -0.05)	0.003
燃料				
非清洁			1.00	
清洁			1.41(0.36 ~ 2.46)	0.008
烟囱				
无			1.00	
有			0.47(-0.51 ~ 1.44)	0.349

注:模型1调整了性别、年龄、地区、文化程度、家庭经济收入、水果蔬菜摄入状况、吸烟、饮酒和体力活动;模型2纳入室内污染变量(清洁燃料使用和烟囱设施)

Khalil等<sup>[6]</sup>的研究结果显示,体内铅水平较高的男性通常有着较低的手握力得分,提示环境铅暴露可能对老年男性的骨骼健康产生不利影响。

室外PM<sub>2.5</sub>浓度与低手握力之间的相关性机制

目前尚不明确,一方面,大气颗粒物表面吸附大量的有机化合物,如挥发性有机化合物(多环芳烃、硝基-PAH)、金属(铁、镍、钒、铜等)、离子(硫酸盐、硝酸盐)、碳质材料的颗粒核心(主要来自燃烧过程和车辆废气颗粒)、生物材料(肉毒素、细菌、病毒、动植物残骸)和矿物质(石英、石棉、土壤粉尘)等<sup>[12]</sup>。大气颗粒物上附着的这些物质可能介导体内炎症反应和氧化应激反应,导致机体功能下降以代偿危害效应<sup>[13]</sup>。最终表现为手握力等功能指标的下降。另一方面,环境颗粒物会直接导致呼吸系统和循环系统的慢性病,而这些疾病则与老年人群的骨骼神经系统以及肌少症等密切相关,而肌少症则往往表现为手握力的下降<sup>[14]</sup>。

本研究结果也显示,室内空气污染也与中老年人低手握力值密切相关,尤其是在农村地区,相比使用固体燃料,使用清洁能源的人群手握力较高,而在城市地区则不显著。推测可能的机制为:一方面,在农村地区,中老年人因为机体功能下降,大部分时间是在室内活动,增加了暴露于室内污染的概率,另一方面,农村地区的中老年人很多都承担了在家做饭的任务,而固体燃料不充分燃烧会产生大量的挥发性有机化合物和金属烟尘,这些均会对人体产生有害影响,进而影响身体机能。

本研究存在局限性。由于2013年之前,我国尚未建立起覆盖全国的地表空气污染物监测系统,因此作为本研究重要的暴露

因素室外 PM<sub>2.5</sub> 浓度是基于卫星遥感数据的估计获得,有可能带来潜在的暴露错分和效应估计偏倚。但是据我们所知,这种方法已被广泛应用于估算环境 PM<sub>2.5</sub> 的全球分布<sup>[15-16]</sup>,而且在 2013—2015 年期间,中国监测站的 PM<sub>2.5</sub> 浓度与基于该方法估计的浓度进行了比较发现它们之间存在高度相关性<sup>[9]</sup>。本研究另一缺陷是没有考虑其他空气污染物或天气因素(如温度和湿度)。这可能导致无法衡量在一定程度上混淆了效应估计。未来的研究应该衡量和控制这些潜在的混淆因素。

综上所述,本研究发现环境颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 与室内污染合并暴露与我国 ≥50 岁人群低手握力显著相关,强调了慢性长期空气污染暴露有可能对我国中老年人机体功能产生不利影响。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] Clegg A, Young J, Iliffe S, et al. Frailty in elderly people [J]. *Lancet*, 2013, 381 (9868) : 752–762. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)62167-9.
- [2] Ling CHY, Taekema D, de Craen AJM, et al. Handgrip strength and mortality in the oldest old population: the Leiden 85-plus study [J]. *Canadian Med Associat J*, 2010, 182 (5) : 429–435. DOI: 10.1503/cmaj.091278.
- [3] Rolland Y, Lauwers-Cances V, Cesari M, et al. Physical performance measures as predictors of mortality in a cohort of community-dwelling older French women [J]. *Eur J Epidemiol*, 2006, 21(2) : 113–122. DOI: 10.1007/s10654-005-5458-x.
- [4] Hairi FM, Mackenbach JP, Andersen-Ranberg K, et al. Does socio-economic status predict grip strength in older Europeans? Results from the SHARE study in non-institutionalised men and women aged 50+ [J]. *J Epidemiol Community Health*, 2010, 64 (9) : 829–837. DOI: 10.1136/jech.2009.088476.
- [5] Syddall H, Evandrou M, Cooper C, et al. Social inequalities in grip strength, physical function, and falls among community dwelling older men and women: findings from the Hertfordshire Cohort Study [J]. *J Aging Health*, 2009, 21 (6) : 913–939. DOI: 10.1177/0898264309340793.
- [6] Khalil N, Faulkner KA, Greenspan SL, et al. Associations between bone mineral density, grip strength, and lead body burden in older men [J]. *J Am Geriatr Soc*, 2014, 62 (1) : 141–146. DOI: 10.1111/jgs.12603.
- [7] 郭雁飞, 施燕, 阮晔, 等. 全球老龄化与成人健康研究中国项目进展 [J]. *中华流行病学杂志*, 2019, 40(10) : 1203–1205. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.10.006.
- [8] 上海市疾病预防控制中心. 全球老龄化与成人健康中国研究报告(第一轮) [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2014. Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention (SCDC). Study on global AGEing and adult health (SAGE), Wave 1 [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 2014.
- [9] Lin HL, Guo YF, Zheng Y, et al. Long-term effects of ambient PM<sub>2.5</sub> on hypertension and blood pressure and attributable risk among older Chinese adults [J]. *Hypertension*, 2017, 69 (5) : 806–812. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.116.08839.
- [10] Jerrett M, Turner MC, Beckerman BS, et al. Comparing the health effects of ambient particulate matter estimated using ground-based versus remote sensing exposure estimates [J]. *Environ Health Perspect*, 2017, 125 (4) : 552–559. DOI: 10.1289/EHP575.
- [11] Kim KN, Lee MR, Choi YH, et al. Associations of blood cadmium levels with depression and lower handgrip strength in a community-dwelling elderly population: a repeated-measures panel study [J]. *J Gerontol A*, 2016, 71 (11) : 1525–1530. DOI: 10.1093/gerona/glw119.
- [12] Valavanidis A, Fiotakis K, Vlachogianni T. Airborne particulate matter and human health: toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms [J]. *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev*, 2008, 26 (4) : 339–362. DOI: 10.1080/10590500802494538.
- [13] Fougère B, Vellas B, Billet S, et al. Air Pollution modifies the association between successful and pathological aging throughout the frailty condition [J]. *Ageing Res Rev*, 2015, 24 : 299–303. DOI: 10.1016/j.arr.2015.09.004.
- [14] Doherty TJ. Invited review: aging and sarcopenia [J]. *J Appl Physiol*, 2003, 95 (4) : 1717–1727. DOI: 10.1152/jappphysiol.00347.2003.
- [15] Liu Y, Samat JA, Kilaru V, et al. Estimating ground-level PM<sub>2.5</sub> in the eastern United States using satellite remote sensing [J]. *Environ Sci Technol*, 2005, 39 (9) : 3269–3278. DOI: 10.1021/es049352m.
- [16] van Donkelaar A, Martin RV, Brauer M, et al. Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: development and application [J]. *Environ Health Perspect*, 2010, 118 (6) : 847–855. DOI: 10.1289/ehp.0901623.

(收稿日期: 2019-01-30)

(本文编辑: 万玉立)