

# 肥胖儿童功能性运动能力与肺功能的关联

李改新, 王晨宇

郑州航空工业管理学院体育健康与文化研究中心, 河南 450015

**【摘要】** 目的 探讨肥胖儿童功能性运动能力与肺功能的关系, 为改善肥胖儿童运动能力提供参考。方法 选取郑州市某小学 55 名肥胖儿童(肥胖组)与 57 名体重正常的健康儿童(对照组), 利用肺量计测定肺功能, 利用 6 min 步行实验(6 MWT)测定功能性运动能力。结果 肥胖组儿童 6 min 内步行距离(6 MWD) [(546.1±67.9) m] 低于对照组 [(610.4±70.1) m] ( $t=-4.90, P<0.01$ )。肺功能测试指标中, 肥胖组第 1 s 用力呼气量(FEV1) [(93.3±9.4)%] 和用力呼气中期流量(FMEF) [(100.2±11.4)%] 低于对照组 [(99.5±16.4)%], (109.4±19.1)%], 差异均有统计学意义( $t$  值分别为 -2.45, -3.11,  $P$  值均  $<0.05$ ), 用力肺活量(FVC), FEV1/FVC 以及呼气流量峰值(PEF) 两组间比较差异均无统计学意义( $P$  值均  $>0.05$ )。偏相关分析显示, 在各参数中仅身体质量指数(BMI) 与 6 MWD 呈负相关( $r=-0.31, P=0.03$ )。结论 肥胖儿童功能性运动能力与肺功能均低于健康儿童, BMI 是功能性运动能力的独立预测变量。

**【关键词】** 肥胖症; 肺; 运动活动; 儿童

**【中图分类号】** R 723.14 G 804.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2019)06-0896-04

**Association of functional exercise performance and pulmonary function in obese children/LI Gaixin, WANG Chenyu. Research Center of Physical Health and Culture, Zhengzhou University of Aeronautics, Zhengzhou (450015), China**

**【Abstract】 Objective** The present study aims to investigate the association of functional exercise performance and pulmonary function in obese children, and to provide a reference for improving motor ability of obese children. **Methods** A total of 55 obese (obese group) and 57 healthy children with normal body weight (control group) were enrolled and pulmonary function as well as functional exercise performance were determined by spirometry and six-minute walk test (6 MWT), respectively. **Results** The 6 MWT distance (6MWD) in obese group was lower than that of control group [obese group (546.1±67.9) m, control group (610.4±70.1) m,  $P<0.01$ ]. In terms of pulmonary function parameters, forced expiratory volume in 1 sec (FEV1) and forced mid-expiratory flows (FMEF) were lower in the obese group than control group [FEV1: obese group (93.3±9.4)%, control group (99.5±16.4)%,  $P=0.02$ ; FMEF: obese group (100.2±11.4)%, control group (109.4±19.1)%,  $P=0.002$ ], whereas forced vital capacity (FVC), the FEV1/FVC ratio and peak expiratory flow (PEF) were not statistically different between the two groups. Partial correlation analysis revealed that among all parameters, only body mass index (BMI) was negatively associated with 6MWD ( $r=-0.31, P=0.03$ ). **Conclusion** Functional exercise performance and pulmonary function of obese children deteriorates as compared to those of healthy children. BMI might be the independent predictor for functional exercise performance.

**【Key words】** Obesity; Lung; Motor activity; Child

据估计,全世界肥胖和超重儿童数量近 5 000 万,且随时间呈现逐年上升趋势<sup>[1]</sup>。流行病学调查发现,肥胖与心血管、肌肉骨骼以及呼吸系统疾病存在关联,发病年龄日益年轻化(甚至儿童期发病)<sup>[2-3]</sup>。肥胖儿童肺功能下降,哮喘等呼吸系统疾病的发病率增加,最终导致患者运动能力低下,生活质量受到严重影响<sup>[4]</sup>。本研究旨在观察肥胖儿童功能性运动能力、肺功能的变化(与同龄健康非肥胖儿童比较)及两者之间的关联,为改善肥胖儿童运动能力提供参考。

## 1 对象与方法

1.1 对象 于 2018 年 5 月在郑州市某小学采用随机

数字表选定班级,以班级内的学生为受试对象。再按照入选标准选定肥胖儿童,共选取 6 个班 265 名儿童为研究对象,由班主任通知说明本研究的意义。受试者经本人、学生家长、所在学校以及郑州航空工业管理学院伦理委员会同意后报名参加本研究。入选标准:(1)年龄 7~11 岁;(2)单纯性肥胖患者(排除继发性肥胖和药物性肥胖);(3)身体健康,无各种急慢性疾病。参照学龄儿童青少年超重与肥胖筛查标准<sup>[5]</sup>,将符合肥胖标准的 58 名儿童作为肥胖组,在上述班级选取年龄、性别相匹配的 58 名体重正常的健康儿童作为对照组。嘱受试者测试前 48 h 清淡饮食并避免剧烈运动。

实验过程中,由于未完成全部测试、无故失联、家长拒绝继续实验等原因共 4 名受试者(肥胖组 3 名、对照组 1 名)失访,各组最终样本量分别为肥胖组 55 名,对照组 57 名。受试者在 6 min 步行实验(six-minute walk test, 6 MWT)过程中均未出现呼吸困难、喘

**【基金项目】** 河南省重点科技攻关项目(172102310141)。

**【作者简介】** 李改新(1982-),男,河南西华人,硕士,讲师,主要研究方向为运动与身体功能恢复。

DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2019.06.029

息、胸闷、咳嗽、恶心、呕吐、异常疲劳、肌肉损伤等运动相关不良反应。

## 1.2 方法

**1.2.1 身体形态学与血流动力学参数测定** 于清晨空腹状态下利用体质检测组件(方舟 III, 中国)测定儿童身高(m)、体重(kg), 记数分别精确至 0.01 m 和 0.1 kg, 计算 BMI = 体重(kg)/身高<sup>2</sup>(m<sup>2</sup>)。测量时要求排空大小便、轻装、赤足。

坐位休息 15~20 min 后, 采用校正后的标准台式水银柱血压计(鱼跃, 中国)测量右上臂肱动脉血压, 连续测量 3 次取均值, 每次间隔 5~10 min, 获取收缩压(systolic blood pressure, SBP)和舒张压(diastolic blood pressure, DBP)。通过触诊桡动脉, 计数 3 次(4×15 s)脉搏获取安静心率(heart rate, HR)值。

**1.2.2 肺功能参数测定** 利用肺功能测量仪(Spirolab III, 意大利)测定受试者肺功能参数。受试者取站立位, 头部保持自然水平, 夹上鼻夹, 做最大吸气后将口唇包紧吹气筒以最大力量、最快速度呼气。参数包括: 第 1 s 用力呼气量(forced expiratory volume in 1 sec, FEV1)、用力呼气中期流量(forced mid-expiratory flows, FMEF)、用力肺活量(forced vital capacity, FVC)、FEV1/FVC 以及呼气流量峰值(peak expiratory flow, PEF)。所有数据用实测值占预测值的百分比(%)表示, 预测值根据受试者的年龄、身高和体重估算<sup>[6]</sup>。

**1.2.3 功能性运动能力测试** 利用 6 MWT 测定受试者功能性运动能力。参照美国胸科协会(American Thoracic Society, AST)推荐的 6 MWT 标准化测试指南<sup>[7]</sup>进行操作。选择平坦、宽敞、坚硬的地面, 地面上

画一条 30 m 直线。受试者穿轻装和运动鞋, 先检测安静时的血氧饱和度(oxygen saturation, SaO<sub>2</sub>), 根据 Borg 评分表对疲劳和呼吸困难程度进行评估<sup>[8]</sup>, 其信度为 0.63, 效度为 0.82。Borg 量表由 0~10 级构成, 自下而上排列, 量表的顶端即 10 级用于描述患者在极度剧烈运动情况下的呼吸努力程度, 量表的底端即 0 级用于描述患者在休息时的呼吸情况, 患者在运动时被要求选择最能描述他们疲劳和呼吸努力程度的等级。受试者佩戴遥测心率表(Polar S810, 芬兰)后沿直线尽可能快速行走 6 min, 实验结束后测量 6 min 内的步行距离(six-minute walk distance, 6 MWD), SaO<sub>2</sub>, 血压及疲劳评分和呼吸困难评分, 通过心率表记录平均 HR。运动前进行 5~10 min 准备活动(慢跑+拉伸), 测试均在上午 7:00—10:00 进行, 避免生物节律波动。

**1.3 统计学分析** 采用 SPSS 20.0 统计软件包对数据进行分析处理。组间计量资料比较使用独立样本 *t* 检验, 组间率的比较使用  $\chi^2$  检验。6 MWD 与身体形态学参数、血液动力学参数以及肺功能参数的关系使用 Pearson 相关分析; 采用偏相关分析进一步检验以筛选 6 MWD 的预测变量。检验水准  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

**2.1 肥胖组与对照组儿童一般变量特征比较** 肥胖组儿童体重, BMI, SBP 和 DBP 均高于对照组, 差异均有统计学意义(*P* 值均 < 0.05), 两组间年龄、身高和安静 HR 比较差异均无统计学意义(*P* 值均 > 0.05)。见表 1。肥胖组男童 36 名、女童 19 名, 对照组男童 31 名、女童 26 名, 组间性别构成差异无统计学意义( $\chi^2=0.23, P=0.25$ )。

表 1 肥胖组与对照组儿童一般变量特征比较( $\bar{x}\pm s$ )

组别	人数	年龄/岁	身高/m	体重/kg	BMI/(kg·m <sup>-2</sup> )	SBP/mmHg	DBP/mmHg	HR/(次·min <sup>-1</sup> )
肥胖组	55	9.27±1.15	1.47±0.05	60.5±6.1	28.2±3.3	107.4±11.6	70.4±8.8	67.6±6.5
对照组	57	9.10±1.19	1.45±0.05	44.7±5.5	21.2±2.9	102.3±7.7	67.0±7.3	68.8±5.3
<i>t</i> 值		0.80	1.35	14.38	11.93	2.78	2.26	-1.04
<i>P</i> 值		0.43	0.18	<0.01	<0.01	0.01	0.03	0.30

注: 1 mmHg=0.133 kPa。

**2.2 肥胖组与对照组儿童肺功能比较** 肥胖组儿童 FMEF 和 FEV1 低于对照组, 差异均有统计学意义(*P*

值均 < 0.05), FVC, PEF 以及 FEV1/FVC 两组间比较差异均无统计学意义(*P* 值均 > 0.05)。见表 2。

表 2 肥胖组与对照组儿童肺功能比较( $\bar{x}\pm s, \%$ )

组别	人数	FVC	FMEF	PEF	FEV1	FEV1 与 FVC 比值
肥胖组	55	94.6±10.6	100.2±11.4	80.7±10.1	93.3±9.4	99.6±10.3
对照组	57	95.8±9.7	109.4±19.1	82.3±15.0	99.5±16.4	101.4±9.3
<i>t</i> 值		-0.63	-3.11	-0.68	-2.45	-0.95
<i>P</i> 值		0.53	0.00	0.50	0.02	0.35

**2.3 肥胖组与对照组儿童 6 MWD 及 6 MWT 生理反应比较** 肥胖组儿童 6 MWD 和平均 HR 均低于对照组, 差异均有统计学意义(*P* 值均 < 0.05)。见表 3。6 MTW 前, 两组间 SaO<sub>2</sub>、疲劳评分和呼吸困难评分比

较差异均无统计学意义(*P* 值均 > 0.05); 6 MTW 后, 肥胖组呼吸困难评分低于对照组, 差异有统计学意义(*P* < 0.05), 两组间 SaO<sub>2</sub> 和疲劳评分比较差异均无统计学意义(*P* 值均 > 0.05)。见表 4。

表3 肥胖组与对照组儿童6 MWD和平均HR比较( $\bar{x}\pm s$ )

组别	人数	6 MWD/m	平均HR/(次·min <sup>-1</sup> )
肥胖组	55	546.1±67.9	119.5±11.6
对照组	57	610.4±70.1	128.5±16.3
<i>t</i> 值		-4.90	-3.36
<i>P</i> 值		<0.01	0.00

表4 肥胖组与对照组儿童6 MWT前后生理反应比较( $\bar{x}\pm s$ )

6 MWT前后	组别	人数	统计值	SaO <sub>2</sub> %	疲劳评分	呼吸困难评分
6 MWT前	肥胖组	55		98.6±0.7	0.9±0.3	0.5±0.2
	对照组	57		98.5±0.7	0.9±0.3	0.4±0.3
			<i>t</i> 值	0.87	-0.48	0.44
			<i>P</i> 值	0.39	0.63	0.66
6 MWT后	肥胖组	55		98.6±0.7	2.5±0.7	0.9±0.5
	对照组	57		98.7±0.6	2.6±0.6	1.7±1.0
			<i>t</i> 值	-1.23	-0.74	-5.56
			<i>P</i> 值	0.22	0.46	<0.01

2.4 相关分析 Pearson 相关分析显示,6 MWD 与 BMI 呈负相关( $r=-0.41, P<0.01$ ),与其他身体形态学参数、血液动力学参数以及肺功能参数的相关性均无统计学意义( $P$ 值均>0.05)。见表5。将各参数作为控制变量后进行偏相关分析显示,6 MWD 与 BMI 仍呈负相关( $r=-0.31, P=0.03$ )。

表5 儿童6 MWD与各变量相关分析( $n=112$ )

变量	<i>r</i> 值	<i>P</i> 值
年龄	-0.20	0.14
性别	0.13	0.35
身高	0.04	0.77
体重	0.08	0.59
BMI	-0.41	<0.01
SBP	-0.09	0.54
DBP	-0.18	0.18
HR(安静)	0.04	0.79
平均HR(6 MWT)	0.04	0.78
6 MWT前 SaO <sub>2</sub>	0.10	0.48
6 MWT后 SaO <sub>2</sub>	-0.07	0.63
6 MWT前疲劳评分	-0.09	0.54
6 MWT后疲劳评分	0.03	0.81
6 MWT前呼吸困难评分	0.12	0.39
6 MWT后呼吸困难评分	0.01	0.95
FVC	-0.09	0.53
FMEF	0.10	0.47
PEF	-0.13	0.36
FEV1	0.19	0.18
FEV1/FVC	0.16	0.25

### 3 讨论

6 MWT 是一项简便易行、安全有效且具有良好耐受性的亚极量运动实验,通过受试者6 MWD 反映其日常活动水平下的器官功能和运动耐力(即功能性运动能力),广泛应用于各种心血管疾病、呼吸系统疾病、神经肌肉系统疾病等患者的临床治疗效果评价及预后评估,主要反映患者日常活动状况和功能代偿能力<sup>[9]</sup>。一项大样本队列研究显示,6 MWD 是慢性阻塞性肺病患者全因死亡率的强预测因子<sup>[10]</sup>。针对成年人以及儿童青少年的研究均证实,6 MWT 具有较高的信度和效度,且6 MWT 时的耗氧量与心肺运动实验中的最大摄氧量(maximal oxygen uptake, VO<sub>2</sub>max)(评价有氧运动能力的金标准)具有良好相关性,因此

该测试方案同样可适用于肥胖人群<sup>[9,11]</sup>。此外,肥胖患者通过6 MWT 进行日常体育锻炼可作为有效的自我管理手段,对形成健康生活方式以及体重控制均具有积极作用<sup>[12]</sup>。随后的研究证实,肥胖患者运动能力低于非肥胖者<sup>[13]</sup>。Morinder 等<sup>[14]</sup>报道,肥胖儿童6 MWD较同龄体重正常者下降约24%。Pataky 等<sup>[15]</sup>针对成年人的对照研究显示,伴随脂肪含量增加,行走时的步速降低、步幅缩短,平衡能力(坐立实验)以及有氧运动能力均显著下调。本研究发现,肥胖儿童功能性运动能力(即6 MWD)下降,造成这一现象的原因尚未明确。然而,肥胖组6 MWT后呼吸困难评分以及运动过程中的平均HR却低于对照组。Morinder 等<sup>[14]</sup>研究同样显示,成年肥胖者6 MWT后的HR低于对照组,可能与两组受试者对体力活动的动机与态度不同有关。

基于氧气的供应与利用是限制亚极量运动能力的关键因素,故推断肺功能下降可能是肥胖组6 MWD降低的重要因素。肥胖能够多方面影响肺通气与换气功能。脂肪增加造成胸壁顺应性下降,气道阻力增加,气道过早关闭导致通气与血流灌注比值失调,由于功能残气量(functional residual capacity, FRC)和呼气储备量(expiratory reserve volume, ERV)降低,引起身体缺氧<sup>[16]</sup>。上述机制造成肥胖患者呼吸做功增加。Jensen 等<sup>[17]</sup>针对肥胖成人的研究发现,呼吸功能各参数中FRC和ERV最常受累及。脂肪堆积同样能够对儿童和青少年肺功能造成不良影响。Davidson 等<sup>[18]</sup>报道,肥胖儿童青少年肺功能下降,造成呼吸系统症状增加、功能降低。Baek 等<sup>[19]</sup>发现,肥胖儿童FEV1和FEV1/FVC较健康儿童下降。然而少数研究证实肥胖与肺功能之间并无关联<sup>[20-22]</sup>,可能与受试者的选取、肥胖程度、肥胖诊断方法、样本量等多种因素有关。本研究中,肥胖组FEV1和FEF稍低于对照组,但FEV1/FVC两组间比较差异并无统计学意义。

肥胖患者肺功能与运动能力的关系鲜有关注<sup>[23-24]</sup>。Gontijo 等<sup>[23]</sup>报道,成年肥胖患者肺功能与6 MWD呈正相关,即随呼吸功能降低,功能性运动能力(测试时完成的距离)下降。Rastogi 等<sup>[24]</sup>研究显示,伴有哮喘的肥胖青少年6 MWD较单纯肥胖或者哮喘者以及健康者均降低,然而该研究并未发现肺功能与功能性运动能力存在关联。在本研究中,肥胖组儿童肺功能与6 MWD均下降,但相关分析结果显示两者相关性并无统计学意义,对多个参数进行偏相关分析后发现,仅BMI是6 MWD的预测因子。

综上所述,本研究结果显示,肥胖儿童功能性运动能力与肺功能均低于健康儿童,然而肺功能与功能性运动能力并无关联,BMI是功能性运动能力的独立预测变量。

## 4 参考文献

- [1] KUMAR S, KELLY A S. Review of childhood obesity: from epidemiology, etiology, and comorbidities to clinical assessment and treatment [J]. *May Clin Proc*, 2017, 92(2): 251-265.
- [2] CHANDRASEKHAR T, SUCHITRA M M, PALLAVI M, et al. Risk factors for cardiovascular disease in obese children [J]. *Indian Pediatr*, 2017, 54(9): 752-755.
- [3] 杨招庚, 董彦会, 王西婕, 等. 中国 2014 年 7~18 岁中小学生腹部肥胖流行现状 [J]. *中国学校卫生*, 2018, 39(6): 810-813.
- [4] FORNO E, CELEDÓN J C. The effect of obesity, weight gain, and weight loss on asthma inception and control [J]. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*, 2017, 17(2): 123-130.
- [5] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. WS/T 586—2018 学龄儿童青少年超重与肥胖筛查 [J]. 北京, 2018-08-01.
- [6] QUANGER P H, STANOGEVIC S, COLE T J, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations [J]. *Eur Respir J*, 2012, 40(6): 1324-1343.
- [7] American Thoracic Society. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2002, 166(1): 111-117.
- [8] CHETTA A, CASTAGNARO A, FOREST A, et al. Assessment of breathlessness perception by borg scale in asthmatic patients: reproducibility and applicability to different stimuli [J]. *J Asthma*, 2003, 40(3): 323-329.
- [9] RIZZI M, RADOVANOVIC D, SANTUS P, et al. Usefulness of six-minute walk test in systemic sclerosis [J]. *Clin Exp Rheumatol*, 2018, 36(Suppl 113): 161-167.
- [10] CASANOVA C, COTE C, MARIN J M, et al. Distance and oxygen desaturation during the 6-min walk test as predictors of long-term mortality in patients with COPD [J]. *Chest*, 2008, 134(4): 746-752.
- [11] JALILI M, NAZEM F, SAZVAR A, et al. Prediction of maximal oxygen uptake by six-minute walk test and body mass index in healthy boys [J]. *J Pediatr*, 2018, 200: 155-159.
- [12] DU H, NEWTON P J, SALAMONSON Y, et al. A review of the six-minute walk test: its implication as a self-administered assessment tool [J]. *Eur J Cardiovasc Nurs*, 2009, 8(1): 2-8.
- [13] TAMURA L S, CAZZO E, CHAIM E A, et al. Influence of morbid obesity on physical capacity, knee-related symptoms and overall quality of life: a cross-sectional study [J]. *Rev Assoc Med Bras* (1992), 2017, 63(2): 142-147.
- [14] MORINDER G, MATSSON E, SOLLANDER C, et al. Six-minute walk test in obese children and adolescents: reproducibility and validity [J]. *Phys Res Int*, 2009, 14(2): 91-104.
- [15] PATAKY Z, ARMAND S, MÜER-PINGST S, et al. Effects of obesity on functional capacity [J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2014, 22(1): 56-62.
- [16] WINCK A D, HEINZMANN-FILHO J P, SOARES R B, et al. Effects of obesity on lung volume and capacity in children and adolescents: a systematic review [J]. *Rev Paul Pediatr*, 2016, 34(4): 510-517.
- [17] JENSEN M E, WOOD L G, GIBSON P G. Obesity and childhood asthma-mechanisms and manifestations [J]. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*, 2012, 12(2): 186-192.
- [18] DAVIDSON W J, MACKENZIE-RIFE K A, WITMANS M B, et al. Obesity negatively impacts lung function in children and adolescents [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2014, 49(10): 1003-1010.
- [19] BAEK H S, KIM Y D, SHIN J H, et al. Serum leptin and adiponectin levels correlate with exercise-induced bronchoconstriction in children with asthma [J]. *Ann Allergy Asthm Immunol*, 2011, 107(1): 14-21.
- [20] BORAN P, TOKUC G, PISGIN B, et al. Impact of obesity on ventilatory function [J]. *J Pediatr (Rio J)*, 2007, 83(2): 171-176.
- [21] PETERS J I, MCKINNEY J M, SMITH B, et al. Impact of obesity in asthma: evidence from a large prospective disease management study [J]. *Ann Allergy Asthm Immunol*, 2011, 106(1): 30-35.
- [22] CONSILVIO N P, DI P S, VERINI M, et al. The reciprocal influences of asthma and obesity on lung function testing, AHR, and airway inflammation in prepubertal children [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2010, 45(11): 1103-1110.
- [23] GONTIJO P L, LIMA T P, COSTA T R, et al. Correlation of spirometry with the six-minute walk test in eutrophic and obese individuals [J]. *Rev Assoc Med Bras* (1992), 2011, 57(4): 380-386.
- [24] RASTOGI D, KHAN U I, ISASI C R, et al. Associations of obesity and asthma with functional exercise capacity in urban minority adolescents [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2012, 47(11): 1061-1069.

收稿日期: 2018-11-28; 修回日期: 2019-03-08

(上接第 895 页)

- [3] 卫生部办公厅. 流感样病例暴发疫情处置指南 (2012 版) [Z]. 2012-11.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 医院消毒卫生标准 GB 15982—2012 [S]. 北京: 2012.
- [5] YANG J, ATKINS K E, FENG L Z, et al. Seasonal influenza vaccination in China: landscape of diverse regional reimbursement policy, and budget impact analysis [J]. *Vaccine*, 2016, 34(47): 5724-5735. DOI: 10.1016/j.vaccine.2016.10.013.
- [6] 林云万, 李晓宁, 张旭, 等. 广州市托幼机构消毒质量监督及手足口病聚集性疫情关联研究 [J]. *中国消毒学杂志*, 2018, 35(3): 199-202.
- [7] 张旭, 李晓宁, 汪慧, 等. 广州市托幼机构消毒质量监督结果及其与诺如病毒聚集性疫情的关联研究 [J]. *中国消毒学杂志*, 2018, 35(2): 128-129.
- [8] ANNE M B, HILDA F S, HOLLIS S I. Effect of ultra-violet irradiation of classrooms on spread of mumps and chickenpox in large rural central schools: a progress report [J]. *Am J Public Health Nations Health*, 1949, 39(10): 1321-1330.
- [9] JING Y, MICHAEL G, JOVAN P, et al. Infectious virus in exhaled breath of symptomatic seasonal influenza cases from a college community [J]. *PNAS*, 2018, 115(5): 1081-1086.
- [10] JANE S G, PAUL D, MARTIN D C, et al. Survival of Influenza A (H1N1) on materials found in households: implications for infection control [J]. *PLoS One*, 2011, 6(11): e27932.
- [11] 宋士祥, 刘永韩, 廷敏, 等. 学校卫生室紫外线灯照射强度及其影响因素的调查 [J]. *中国实用医药*, 2006, 1(5): 112-113.
- [12] 李群, 叶新梅, 黄妙琴. 多功能空气消毒机与紫外线灯消毒对急诊病房感染控制的效果研究 [J]. *中华医院感染学杂志*, 2015, 25(13): 3115-3117. DOI: 10.11816/cn.ni.2015-141728.
- [13] DAVID W, MANUELA B, VELJKO G, et al. Far-UVC light: a new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases [J]. *Sci Reports*, 2018, 8: 2752. DOI: 10.1038/s41598-018-21058-w.

收稿日期: 2019-03-10; 修回日期: 2019-04-05