

杭州市萧山区2009—2019年极端气象因素与0~6岁儿童手足口病发病风险关系

徐兴福¹, 毕建萍², 李骏¹

1. 杭州市萧山区疾病预防控制中心, 浙江 杭州 311203

2. 杭州市萧山区卫生和计划生育执法大队, 浙江 杭州 311203

摘要:

[背景] 在全球变暖的背景下, 极端天气事件在全球频频发生, 极端气象因素对手足口病发病影响值得关注。

[目的] 分析极端气象因素对杭州市萧山区0~6岁儿童手足口病发病风险的影响, 为手足口病的防控工作提供科学依据。

[方法] 2009—2019年杭州市萧山区0~6岁儿童手足口病病例资料来源于中国疾病预防控制中心信息系统和病后个案随访资料, 同期气象参数资料来源于中国气象科学数据共享服务网。采用分布滞后非线性模型, 调整长期趋势、星期几和节假日等潜在混杂因素后, 计算相对于参考值 P_{50} , 在一定滞后时间内气象因素对手足口病发病的影响。所有发病风险均以相对危险度(RR)表示, 由气象因素第90或第10百分位数与 P_{50} 进行比较, 并以性别、年龄(0~3岁和4~6岁)、抚养方式(散居儿童和幼托儿童)、居住地(村庄和小区)进行分层分析。

[结果] 2009—2019年杭州市萧山区共报告0~6岁儿童手足口病病例21 965例, 发病高峰在5—7月。男、女性别比为1.14:1; 0~3岁组和4~6岁年龄组分别占儿童病例总数的65.86%(14 467例)和34.14%(7 498例); 散居儿童和幼托儿童分别占76.45%和23.55%; 居住在村庄的儿童病例占68.12%, 居住在小区的儿童占31.88%。气象因素对手足口病发病的影响均呈非线性, 且具有滞后性。以18.9℃为参考, 极端高温29.4℃(P_{90})当天发病风险最高($RR=1.54$, 95% CI : 1.34~1.77), 滞后3~8 d仍有发病风险。分别以相对湿度73.0%和无雨为参考, 极端高湿91%(P_{90})滞后5 d、极高降雨量14.5 mm(P_{90})滞后6 d发病风险均增加5%。以日照4.1 h为参考, 无日照(P_{10})滞后4~11 d手足口病发病风险较高, 而以滞后5 d的危害效应最高($RR=1.04$, 95% $CI=1.02\sim1.07$)。分层分析显示, 极高温和极高相对湿度时各亚组人群均存在较高发病风险, 强度接近。分别与女童、小于3岁儿童和居住在小区的儿童相比, 男童、4~6岁儿童、居住在村庄的儿童手足口病发病可能对极端降雨更为敏感($P<0.05$)。相比于4~6岁儿童, 0~3岁儿童手足口病发病更容易受到无日照的影响($P<0.05$)。

[结论] 极端高温、高相对湿度、高降水、无日照增加了儿童手足口病的发病风险。

关键词: 手足口病; 极端天气; 儿童; 分布滞后非线性模型

Associations of extreme meteorological factors with risk of hand-foot-mouth disease in children aged 0-6 years in Xiaoshan District of Hangzhou from 2009 to 2019 XU Xing-fu¹, BI Jian-ping², LI Jun¹ (1. Hangzhou Xiaoshan Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 311203, China; 2. Law Enforcement Unit of Hangzhou Xiaoshan Health and Family Planning, Hangzhou, Zhejiang 311203, China)

Abstract:

[Background] In the context of global warming, extreme weather events occur frequently across the world, and their influences on the incidences of hand-foot-mouth disease (HFMD) raise concerns.

[Objective] This study evaluates the effects of extreme meteorological factors on the risk of HFMD in children aged 0-6 years in Xiaoshan District of Hangzhou, and provides scientific evidence for the prevention and control of the disease.

[Methods] The HFMD cases aged 0-6 years in Xiaoshan District of Hangzhou from 2009 to 2019 were retrieved from the information system of the Chinese Center for Disease Control and

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.20188

作者简介

徐兴福 (1971—), 男, 硕士, 副主任医师;
E-mail: jkxxf@163.com

通信作者

徐兴福, E-mail: jkxxf@163.com

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-04-24

录用日期 2020-08-26

文章编号 2095-9982(2020)10-0957-06

中图分类号 R12

文献标志码 A

引用

徐兴福, 毕建萍, 李骏. 杭州市萧山区2009—2019年极端气象因素与0~6岁儿童手足口病发病风险关系 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (10): 957-962.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20188

Funding

This study was funded.

Correspondence to

XU Xing-fu, E-mail: jkxxf@163.com

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2020-04-24

Accepted 2020-08-26

To cite

XU Xing-fu, BI Jian-ping, LI Jun. Associations of extreme meteorological factors with risk of hand-foot-mouth disease in children aged 0-6 years in Xiaoshan District of Hangzhou from 2009 to 2019[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(10): 957-962.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20188

Prevention and the follow-up records, and meteorological variables of the same period were sourced from the China Meteorological Data Service Center. The influences of extreme meteorological factors (versus P_{50}) over certain lag time on HFMD incidence were analyzed by a distributed lag nonlinear model (DLNM) adjusting for potential confounders such as secular trend, day of the week, and holidays. All effects were presented as relative risks (RR) for the 90th or 10th percentiles of the meteorological variables using their P_{50} values as reference. Stratified analysis was performed by gender, age (0-3 and 4-6 years), child-rearing method (sporadic children and institutional preschool children), and residence (village and community).

[Results] From 2009 to 2019, a total of 21 965 HFMD cases aged 0-6 years were reported in Xiaoshan District of Hangzhou, and the peak incidence was from May to July. The boy-to-girl ratio was 1.14:1. Children of 0-3 years old and of 4-6 years old accounted for 65.86% (14 467 cases) and 34.14% (7 498 cases) of the total cases respectively. There were 76.45% sporadic children and 23.55% institutional preschool children, and 68.12% village children and 31.88% community children. Selected meteorological factors had nonlinear and lagged impacts on the incidence of HFMD. The risk of HFMD of extreme heat (P_{90} , 29.4°C) was the highest (RR=1.54, 95% CI: 1.34-1.77) on the current day, and such risk still existed at lag 3-8 days when reference temperature was 18.9°C. Both extreme humidity (P_{90} , 91%) at lag 5 days and extreme precipitation (P_{90} , 14.5 mm) at lag 6 days increased 5% risks of reporting HFMD when relative humidity of 73% and no rainfall were taken as reference respectively. No sunshine exposure (P_{10}) had effects at lag 4-11 days and had the highest effect at lag 5 days (RR=1.04, 95% CI: 1.02-1.07) when taking sunshine duration of 4.1 h as reference. The stratified analysis results showed that both extreme heat and extreme humidity had a close harmful effect on all subgroups. Boys, children aged 4-6 years, and children in villages were more vulnerable to the effects of extreme precipitation than girls, children under 3 years, and children in communities, respectively. Children less than 3 years old were more vulnerable to the effects of no sunshine exposure than children of 4-6 years old.

[Conclusion] Extreme heat, humidity, and precipitation and no sunshine exposure would increase the risk of reporting HFMD among children.

Keywords: hand-foot-mouth disease; extreme weather; child; distributed lag nonlinear model

手足口病 (hand-foot-mouth disease) 是由多种肠道病毒感染引起急性传染病, 以柯萨奇 A 组 16 型和肠道病毒 71 型最为常见。手足口病传播途径多样, 包括飞沫传播、粪口传播和接触传播等, 以手、足、口腔等部位皮疹、疱疹、溃疡为特征, 是影响儿童身体健康的重要传染病, 发病率呈上升趋势^[1]。在全球变暖背景下, 杭州市近 60 年的气温呈升高趋势, 且变化显著, 极端高温和强降水天数均显著增多^[2]。既往关于气象因素与儿童手足口病发病风险的研究, 较少量化极端天气危害强度, 按抚育方式、居住地分层的分析亦不多见^[3-4]。极端气象事件是指某一地区从统计分布观点看极少发生的天气事件。极端阈值的选取主要采用绝对阈值法和相对阈值法: 绝对阈值法, 即选择某特定值, 如降雨等级; 相对阈值法, 选择历史气象因素分布的第 95 百分位数 (P_{95} , 或 P_{90}) 以及 P_5 (或 P_{10}) 作为阈值, 小于或等于、大于或等于该阈值作为极端气象事件^[2, 5]。本研究运用分布滞后非线性模型 (distributed lag nonlinear model, DLNM), 分析极端 (P_{90} 和 P_{10}) 气象因素 (平均气温、相对湿度、降雨量、日照时数) 与 0~6 岁儿童手足口病发病风险的关系, 并探讨不同性别、年龄、抚育方式、居住地的效应差异。

1 材料与方法

1.1 资料来源

2009—2019 年杭州市萧山区手足口病发病资料

来源于中国疾病预防控制中心系统和病后个案随访资料, 同期气象参数资料来源于中国气象科学数据共享服务网, 下载每天的气象资料 (平均气温、相对湿度、24 h 降雨量和日照时数等)。本研究经杭州市萧山区疾病预防控制中心伦理委员会审批通过, 编号: XSCDC2019023。

1.2 统计学分析

从发病资料中筛选出 0~6 岁儿童手足口病病例, 建立病例数据库。年龄划分为 0~3 岁组和 4~6 岁组。根据病后个案随访信息中的居住地, 分为居住在村庄 (包括自然村、城中村) 的儿童和居住在住宅小区的儿童。

DLNM 模型通过交叉基函数能够同时评估暴露因素的滞后效应和非线性效应。将气象因素纳入模型, 以日发病人数为应变量, 最长滞后时间定为 14 d, 将类泊松 (quasi-Poisson) 函数作为模型的连接函数, 在控制假期效应 (法定节假日、星期几)、季节性、长期趋势等其他混杂因素后, 评估气象因素与手足口病发病之间暴露-滞后-反应关系, 模型的公式如下:

$$\lg [E(Y_t)] = \alpha + \beta_1 x_t + NS(Z_t, u) + D_{\text{dow}} + H_{\text{holiday}}$$

式中: Y_t 是第 t 天的发病人数; α 是截距; β_1 为系数, x_t 为影响因素; Z_t 为潜在混杂因素, u 为自由度, NS 为自然样条函数; D_{dow} 为反映星期几效应的哑变量; H_{holiday} 为反映法定节假日效应的哑变量。气象因素的自然立方样条平滑函数自由度设为 3。计算相

对于参考值 P_{50} ，在某滞后时间极端 (P_{90} 和 P_{10}) 气象因素的相对危险度 (RR 及 95% CI)。以 0~7 d 累积 RR 值评价极端气象对亚组人群手足口病发病的影响，以森林图展示。利用赤池信息量准则 (Akaike information criterion) 对模型的拟合优度进行比较和验证。采用 R 3.6.1 中的 $dlnm$ 、 $mgcv$ 包执行数据分析，检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基本情况

2009—2019 年杭州市萧山区报告 0~6 岁儿童手足口病 21 965 例，占总病例数 (23 695 例) 的 92.84%，发病高峰在 5—7 月。病例男、女性别比为 1.14 : 1；0~3 岁组、4~6 岁组分别占病例总数的 65.86% (14 467 例)、34.14% (7 498 例)；散居儿童和幼托儿童分别占病例总数的 76.45% (16 792 例) 和 23.55% (5 173 例)；居住在村庄的儿童和小区的儿童分别占病例总数的 68.12% (14 963 例) 和 31.88% (7 002 例)。每天的手足口病病例和气象因素 (平均气温、相对湿度、降雨量、日照时数) 的描述性分析见表 1。

表 1 杭州市萧山区 2009—2019 年 0~6 岁儿童手足口病发病例数和气象因素的描述性统计

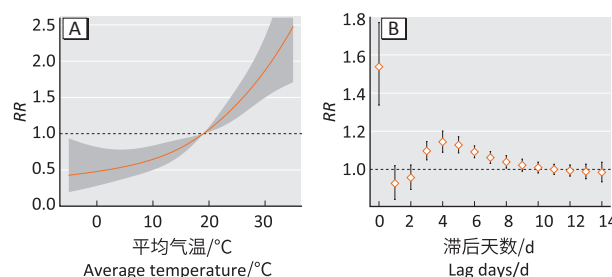
指标 Index	最小值 Min	P_{10}	P_{25}	P_{50}	P_{75}	P_{90}	最大值 Max
手足口病 / 例 Hand-foot-mouth disease/case	0.0	0.0	1.0	3.0	7.0	13.0	61.0
平均气温 / °C Average temperature/°C	-5.0	5.2	10.1	18.9	25.2	29.4	35.7
相对湿度 / % Relative humidity/%	17.0	52.0	62.0	73.0	84.0	91.0	98.0
降雨量 / mm Precipitation/mm	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	14.5	246.4
日照时数 / h Sunshine duration/h	0.0	0.0	0.0	4.1	8.1	9.9	12.8

2.2 气象因素与手足口病发病风险的关系

以平均气温的 P_{50} (18.9 °C) 为参考值，气温 >18.9 °C 与手足口病发病风险呈正向关联，气温越高， RR 值越大，线型近似直线 (图 1A)。以 18.9 °C 为参考，极端高温的阈值 29.4 °C (P_{90}) 当天及滞后 3~8 d 与手足口病发病风险呈正向关联，当天的 RR 最高 ($RR=1.54$ ，95% CI : 1.34~1.77) (图 1B)。

以相对湿度的 P_{50} (73.0%) 为参考，相对湿度与手足口病总暴露-反应关系为非线性关系，相对湿度

>73.0% 与手足口病发病风险呈正相关，98% 时 RR 值最高 ($RR=1.49$ ，95% CI : 1.15~1.94) (图 2A)。以 73.0% 为参考，极端高湿的阈值 91% (P_{90}) 在滞后 4~13 d 与手足口病发病风险呈正向关联，滞后 5 d 时 RR 值最高 ($RR=1.05$ ，95% CI : 1.03~1.07) (图 2B)。

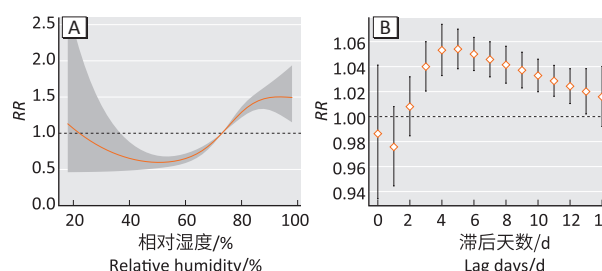


[注] A : 暴露-反应关系，阴影部分表示 95% CI ；B : 以 18.9 °C (P_{50}) 为参考，极端高温 (29.4 °C, P_{90}) 的滞后-反应关系。

[Note] A: Exposure-response relationship with shadowed areas indicating 95% CI ; B: Lag-response relationship of extreme heat (29.4 °C, P_{90}) versus reference (18.9 °C, P_{50}).

图 1 杭州市萧山区 2009—2019 年平均气温与 0~6 岁儿童手足口病发病的暴露-滞后-反应关系

Figure 1 The exposure-lag-response relationship between average temperature and hand-foot-mouth disease incidences of children aged 0-6 years in Xiaoshan District of Hangzhou from 2009 to 2019



[注] A : 暴露-反应关系，阴影部分表示 95% CI ；B : 以 73.0% (P_{50}) 为参考，极端高湿 (91%, P_{90}) 的滞后-反应关系。

[Note] A: Exposure-response relationship with shadowed areas indicating 95% CI ; B: Lag-response relationship of extreme humidity (91%, P_{90}) versus reference (73.0%, P_{50}).

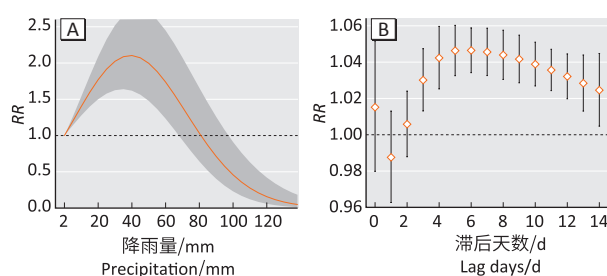
图 2 杭州市萧山区 2009—2019 年相对湿度与 0~6 岁儿童手足口病发病的暴露-滞后-反应关系

Figure 2 The exposure-lag-response relationship between relative humidity and hand-foot-mouth disease incidences of children aged 0-6 years in Xiaoshan District of Hangzhou from 2009 to 2019

相对于无雨 ($P_{50}=0.0$ mm)，降雨量总效应波动变化，雨量增加，发病风险增加，40 mm 达顶点 ($RR=2.10$ ，95% CI : 1.62~2.73)，之后 RR 值渐下降至无关，95 mm 及以上则转化为负向关联 (图 3A)。相对于无雨，极高降雨量的阈值 14.5 mm (P_{90}) 滞后 3~14 d 与手足口病发病风险呈正向关联，滞后 6 d RR 值最高 ($RR=1.05$ ，95% CI : 1.03~1.06) (图 3B)。

以日照时数的 P_{50} (4.1 h) 为参考，日照时数与手

足口病总暴露-反应关系为非线性关系, $<0.8\text{h}$ 及无日照与手足口病发病风险呈正向关联, $\geq 0.8\text{h}$ 且 $<8\text{h}$ 时两者无关, $\geq 8\text{h}$ 但不足 12.4h 呈负关联 (图4A)。相对于 4.1h 的日照量, 无日照 (P_{10}) 滞后 $4\sim 11\text{d}$ 时手足口病发病风险较高, 滞后 5d 时的 RR 值最高 ($RR=1.04$, $95\%CI: 1.02\sim 1.07$) (图4B)。

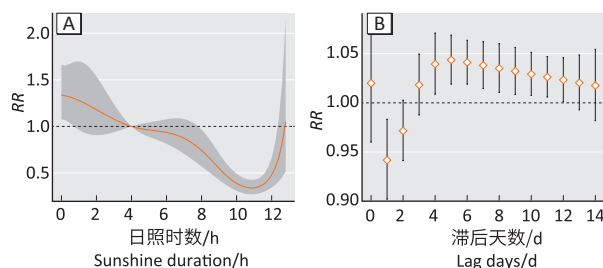


[注] A: 暴露-反应关系, 阴影部分表示 $95\%CI$; B: 以无雨 (P_{50}) 为参考, 极高降雨量 (14.5mm , P_{90}) 的滞后-反应关系。

[Note] A: Exposure-response relationship with shadowed areas indicating $95\%CI$; B: Lag-response relationship of extreme precipitation (14.5mm , P_{90}) versus reference (no rainfall, P_{50}).

图3 杭州市萧山区2009—2019年降雨量与0~6岁儿童手足口病发病的暴露-滞后-反应关系

Figure 3 The exposure-lag-response relationship between precipitation and hand-foot-mouth disease incidences of children aged 0-6 years in Xiaoshan District of Hangzhou from 2009 to 2019



[注] A: 暴露-反应关系, 阴影部分表示 $95\%CI$; B: 以 4.1h (P_{50}) 为参考, 无日照 (P_{10}) 的滞后-反应关系。

[Note] A: Exposure-response relationship with shadowed areas indicating $95\%CI$; B: Lag-response relationship of no sunshine duration (P_{10}) versus reference (4.1h , P_{50}).

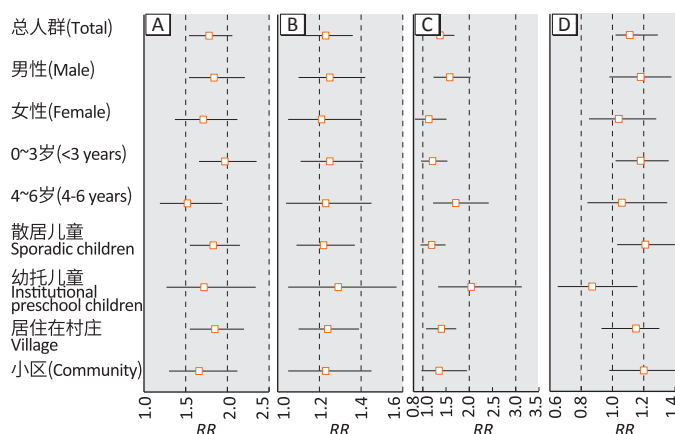
图4 杭州市萧山区2009—2019年日照时数与0~6岁儿童手足口病发病的暴露-滞后-反应关系

Figure 4 The exposure-lag-response relationship between sunshine duration and hand-foot-mouth disease incidences of children aged 0-6 years in Xiaoshan District of Hangzhou from 2009 to 2019

2.3 气象因素与手足口病发病风险的分层分析

极高温和极高相对湿度时各亚组人群发病风险较高, 强度接近。男童、4~6岁组、幼托儿童和居住在村庄的儿童极高降雨量累积 RR 值分别高于相应的女童、0~3岁组、散居儿童和居住在小区的儿童, 可能对极端降雨更为敏感 ($P<0.05$)。相对于4~6岁组、幼托儿童, 0~3岁组、散居儿童无日照累积 RR 值更高, 可

能对无日照更为敏感 ($P<0.05$)。见图5。



[注] A: 极端高温; B: 极高相对湿度; C: 极高降雨量; D: 无日照。

□: RR 值; —: RR 的 $95\%CI$ 。

[Note] A: Extreme heat; B: Extreme humidity; C: Extremely precipitation;

D: No sunshine. □: RR ; —: $95\%CI$.

图5 杭州市萧山区2009—2019年气象因素对各亚组0~6岁儿童手足口病发病0~7d的累积效应

Figure 5 The cumulative effects of meteorological variables on hand-foot-mouth disease incidences of children aged 0-6 years in different subgroups at lag 0-7 days in Xiaoshan District of Hangzhou from 2009 to 2019

3 讨论

本研究聚焦极端天气对杭州市萧山区0~6岁儿童手足口病的危害效应, 并分析亚组人群差异性; 结果显示: 极端高温、高湿、高降雨量、低日照时数与手足口病发病风险呈正相关; 极端降雨量对男童、4~6岁组、幼托儿童和居住在村庄的儿童影响可能更大; 0~3岁组、散居儿童对无日照可能更为敏感。

本研究发现, 温度越高, 手足口病发病风险越高, 暴露-反应关系曲线近似直线, 极高温时儿童手足口病发病风险并未下降, 类似地, 深圳、烟台、泰安等地平均气温暴露-反应关系曲线亦近似直线^[5-6]。但也有研究发现, 气温上升到特定值时手足口病的发病风险下降, 效应曲线呈倒“V”型, 如我国上海、桂林两城市数据显示极高温有危害效应, 韩国则无^[7-9]。以往研究表明, 气候变暖导致的气温升高、水汽浓度升高, 可形成一个环境温度、湿度舒适的条件, 病毒的活跃度上升, 有利于肠道病毒的生存和传播, 导致传染病的发生及扩散。加之儿童户外活动增加, 接触感染人群和环境机会增加, 手足口病发病风险上升。儿童被认为是高温天气的高危人群, 高温若超出儿童的调节范围, 不能继续维持产热和散热过程的相对平衡, 引起生命活动的异常, 对疾病的抵抗力下降^[10]。各地研

究结果的不一致,部分归因于方法多样性、数据结构不同(儿童或全人群、周或日数据等),也可能存在区域气候特异性,并非误差所致,提示特定气候环境儿童手足口病发病影响因素研究的必要性^[9, 11-12]。

我国香港的研究发现,相对湿度>80%时发病风险上升,而小于此值时两者无关^[13];韩国的研究认为<65%存在正向关联,大于此值,湿度上升,发病风险下降^[9];而在我国淮南进行的研究显示相对湿度与手足口病发病无关^[14]。本项研究发现,极高湿91%滞后4~13 d与手足口病发病呈正相关。各地关联性质不同,可能与当地人群对特定气象环境的适应性有关。环境湿度的增加有助于提高病毒的抗药性,从而增强毒力;高湿利于病毒在物体表面的黏附,增加儿童接触的机会。肠道病毒71型在不同气象条件下存活实验显示,在相同温度下,较高的湿度有利于病毒的存活^[15]。手足口病主要以粪-口途径传播,在经济发达地区随着个人卫生条件的改善和卫生设施的发展,呼吸道飞沫传播的重要性越发明显。证据表明,相对湿度被认为是维持病毒稳定性的外在关键因素,相对湿度通过蒸发发挥作用,影响飞沫的大小及其化学微环境。高湿度环境下其空中滞留时间长,促进呼吸道疾病和食源性疾病相关病毒的存活与传播^[16-18]。

广元、济南两城市研究显示,极端降水事件导致手足口病发病数的增多^[3-4]。本研究中降雨量由小到大,发病风险呈“正关联-无关联-负关联”的波动变化。适量降雨时,外环境湿度提高,病毒容易附着于空气中的小颗粒物、玩具和食物,从而提高环境中的个体暴露水平。在生物学上,雨水形成的地下水成为病毒繁殖的理想储存库,强降雨形成地面径流,造成下水道溢流,饮用水受到污染,肠道病毒暴露水平提高,手足口病感染率上升^[19-20]。降雨量在95 mm及以上时,接近或处于大暴雨(24 h降雨量100~250 mm)级别,妨碍人们的日常出行,人们处于“社区隔离”状态,减少了公共场合的人际联系,间接地打断传播链,手足口病发病数下降。

到目前为止,日照时数对手足口病效应的研究结果各地并不一致。上海、香港的研究认为日照时间增多,手足口病病例减少^[12-13]。深圳的研究未发现两者有统计学关联^[5]。Zhang等^[21]在安徽研究发现,日照可降低手足口病再次感染的风险,但极端低日照时间会增加风险,与本研究结果类似。现在人们公认日照和人体维生素D的合成密切相关,维生素D参与免疫

调节、炎症反应。以往研究表明肠道病毒对紫外线敏感,紫外线辐射通过破坏肠道病毒71基因组RNA,致其失活^[22]。北京一项病例对照研究显示,室内紫外线辐射为幼儿园儿童手足口病的保护性因素^[23]。

分层分析显示,相对于女童、0~3岁组、散居儿童,男童、4~6岁组、幼托儿童可能对极端降雨更为敏感,可能这一群体户外活动较多,接触被污染物体的机会多,增加其对极端降雨的敏感性。居住在村庄的儿童为极端降雨的敏感人群,可能因村庄卫生设施不足,居住环境日常维护不规范,雨后环境整治不及时,儿童有较多的机会接触被污染的环境与物体表面。另外部分村庄将井水、河水以及村级自来水作为生活用水,水源中可能含有肠道病毒。已有实验证实,手足口病病毒可在生活污水中稳定存在,柯萨奇A组16型和肠道病毒71型可在22℃污水中存活36 d之久^[24]。无日照时0~3岁组、散居儿童比4~6岁组、幼托儿童手足口病发病风险更高,可能因婴幼儿的免疫系统发育还不够成熟,抗体水平更低,对无日照的适应能力较差,更易感染手足口病。

本研究量化极端天气发病风险强度,多因素分层分析,筛选敏感人群。数据主要来源于被动监测数据,隐性感染可能被忽视,导致信息偏倚。此外,研究本质上是一项生态研究,难免产生生态学谬误。

综上所述,本研究显示极端高温、高湿、高降雨量和无日照可能增加儿童手足口病发病风险,要重视极端天气对儿童健康影响,建立早期预警系统,保护儿童身体健康。

参考文献

- [1] 张静. 2008—2017年中国手足口病流行趋势和病原变化动态数列分析[J]. 中华流行病学杂志, 2019, 40(2): 147-154.
- [2] 梁晓妮, 雷俊, 骆月珍, 等. 1955—2014年杭州极端气温和降水指数变化特征[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(3): 68-74.
- [3] 李洁, 朱麟, 姜宝法, 等. 济南市手足口病与极端降水事件的关系研究[J]. 环境与健康杂志, 2015, 32(4): 311-314.
- [4] 艾思奇, 姜宝法. 极端降水事件对广元市0~14岁儿童手足口病的影响[J]. 环境与健康杂志, 2017, 34(12): 1062-1065.
- [5] ZHANG Z, XIE X, CHEN X, et al. Short-term effects of meteorological factors on hand, foot and mouth disease

- among children in Shenzhen, China : Non-linearity, threshold and interaction [J] . *Sci Total Environ*, 2016, 539 : 576 -582.
- [6] ZHU L, WANG X, GUO Y, et al. Assessment of temperature effect on childhood hand, foot and mouth disease incidence (0-5years) and associated effect modifiers : A 17 cities study in Shandong Province, China, 2007—2012 [J] . *Sci Total Environ*, 2016, 551-552 : 452-459.
- [7] 彭丽, 叶晓芳, 阚海东, 等. 气温对上海市浦东新区手足口病发病的短期效应 [J] . *环境与职业医学*, 2018, 35 (8) : 690-695.
- [8] YU G, LI Y, CAI J, et al. Short-term effects of meteorological factors and air pollution on childhood hand-foot-mouth disease in Guilin, China [J] . *Sci Total Environ*, 2019, 646 : 460-470.
- [9] KIM BI, KI H, PARK S, et al. Effect of climatic factors on hand, foot, and mouth disease in South Korea, 2010-2013 [J/OL] . *PLoS One*, 2016, 11 (6) : e0157500 [2020-07-26] . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157500>.
- [10] PATERSON S K, GODSMARK C N. Heat-health vulnerability in temperate climates : lessons and response options from Ireland [J] . *Global Health*, 2020, 16 (1) : 29.
- [11] XIAO X, GASPARRINI A, HUANG J, et al. The exposure-response relationship between temperature and childhood hand, foot and mouth disease : A multicity study from mainland China [J] . *Environ Int*, 2017, 100 : 102-109.
- [12] QI H, CHEN Y, XU D, et al. Impact of meteorological factors on the incidence of childhood hand, foot, and mouth disease (HFMD) analyzed by DLNMs-based time series approach [J] . *Infect Dis Poverty*, 2018, 7 (1) : 7.
- [13] PIN W, GOGGINS WB, CHAN EYY, et al. Hand, foot and mouth disease in Hong Kong : A time-series analysis on its relationship with weather [J/OL] . *PLoS One*, 2016, 11 (8) : e0161006 [2020-07-26] . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161006>.
- [14] ZHAO D, WANG L, CHENG J, et al. Impact of weather factors on hand, foot and mouth disease, and its role in short-term incidence trend forecast in Huainan City, Anhui Province [J] . *Int J Biometeorol*, 2017, 61 (3) : 453-461.
- [15] 蔡韵, 蒋露芳, 史妍, 等. 介质表面的肠道病毒 71 型在不同气候条件下存活情况调查 [J]. *中华传染病杂志*, 2012, 30 (7) : 398-401.
- [16] GAO J, SUN Y, LU Y, et al. Impact of ambient humidity on child health : a systematic review [J/OL] . *PLoS One*, 2014, 12, 9 (12) : e112508 [2020-07-26] . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112508>.
- [17] LEE SJ, SI J, YUN HS, et al. Effect of temperature and relative humidity on the survival of foodborne viruses during food storage [J] . *Appl Environ Microbiol*, 2015, 81 (6) : 2075-2081.
- [18] MARR LC, TANG JW, VAN MULLEKOM J, et al. Mechanistic insights into the effect of humidity on airborne influenza virus survival, transmission and incidence [J] . *J R Soc Interface*, 2019, 16 (150) : 20180298.
- [19] CHENG J, WU J, XU Z, et al. Associations between extreme precipitation and childhood hand, foot and mouth disease in urban and rural areas in Hefei, China [J] . *Sci Total Environ*, 2014, 497-498 : 484-490.
- [20] CHHETRI BK, GALANIS E, SOBIE S, et al. Projected local rain events due to climate change and the impacts on waterborne diseases in Vancouver, British Columbia, Canada [J] . *Environ Health*, 2019, 18 (1) : 116.
- [21] ZHANG Q, ZHOU M, YANG Y, et al. Short-term effects of extreme meteorological factors on childhood hand, foot, and mouth disease reinfection in Hefei, China : A distributed lag non-linear analysis [J] . *Sci Total Environ*, 2019, 653 : 839-848.
- [22] 谢婧, 李丹地, 谢广成, 等. 肠道病毒 71 型的热力和紫外灭活效果的研究 [J] . *病毒学报*, 2015, 31 (5) : 500-506.
- [23] WU X, SUN Y, LIN C, et al. A case-control study to identify environmental risk factors for hand, foot, and mouth disease outbreaks in Beijing [J] . *Jpn J Infect Dis*, 2014, 67 (2) : 95-99.
- [24] 吉铮, 王晓昌, 张崇淼. 城市生活污水及二级处理水中手足口病病毒及肠道病毒的赋存状态 [J] . *环境工程学报*, 2014, 8 (3) : 1029-1035.

(英文编辑 : 汪源 ; 责任编辑 : 王晓宇)