2009—2023年平凉市手足口病流行病学特征分析及趋势预测

平凉市疾病预防控制中心(744000) 张 旭△ 刘 丽 胡 煜 景佩佩 于婷婷 王宏宝

【提 要】 目的 分析2009—2023年平凉市手足口病的流行特征及时空聚集性,建立差分自回归移动平均模型(autoregressive integrated moving average,ARIMA)预测发病情况。**方法** 收集2009—2023年平凉市手足口病发病数据,利用SPSS软件进行统计分析,构建ARIMA模型进行数据预测,利用Stata软件对全局空间自相关进行分析,采用SaTScan软件对聚集性特征进行分析,利用ArcMap实现数据可视化。率间比较采用χ^2检验,检验水准为α=0.05。**结果** 2009—2023年平凉市共报告手足口病8749例,年均报告发病率为28.98/10万,重症率为2.17‰,死亡率为0.03/10万,病死率为0.91‰。发病呈现明显的季节性,每年以6—8月为主。重点人群为<5岁组儿童,占全部病例的89.75%。部分年份存在时空聚集性,时空扫描时共探测到1个主要聚集区及4个次要聚集区。ARIMA模型预测2024年平凉市手足口病发病率为49.18/10万。**结论** 2009—2023年平凉市手足口病流行趋势及时空分布特征显示出聚集性特点,发病时间主要集中在6—8月,强调在制定未来疫情防控策略时,需充分考虑时空聚集性因素,以确保公共卫生干预措施能够精准、高效地实施。

【关键词】 手足口病 流行病学 时空分布 预测
【中图分类号】 R512.5;R114 **【文献标志码】** A **DOI** 10.11783/j.issn.1002-3674.2026.03.018

手足口病(hand-foot-mouth disease,HFMD)通常是由Cox A16型(柯萨奇病毒A16型)、EV 71型(肠道病毒71型)以及其他肠道病毒感染引起的[1]。HFMD导致患者多部位出现疱疹,病情严重时有引发肺水肿、脑膜炎等并发症可能,甚至导致死亡[2-3]。该病具有高度传染性,易在人群密集的场所迅速传播,从而在短时间内暴发[2]。据统计,我国HFMD的死亡率介于0.0025/10万~0.0678/10万[4],是造成5岁以下儿童死亡的重要传染病之一[5]。本研究旨在对2009—2023年平凉市HFMD监测数据进行分析,并利用自回归整合移动平均(autoregressive integrated moving average,ARIMA)模型对2024年发病率进行预测,以期为本地区HFMD的动态监测、早期预警以及科学防控提供数据支持和参考依据。

材料与方法

1. 资料来源

2009—2023年平凉市HFMD个案数据来源于《中国疾病预防控制信息系统(监测报告管理系统)》,人口资料来源于《平凉市统计年鉴》。

2. 质量控制

按现居住地地址进行个案资料整理,剔除外地上报到当地且现住址不在平凉市范围内的个案及重复填报的流行病学调查卡片。对部分因城市发展导致行政区划名称及代码变更的病例,依据现住详细地址对其所属街道进行更正。

3. 统计学分析

(1)方法

使用excel 2021软件预处理2009—2023年平凉市HFMD发病数据,利用描述性流行病学方法描述人群、时间和空间分布特征。使用SPSS 26.0软件进行统计分析,构建ARIMA模型进行发病率预测,率间比较采用χ^2检验,检验水准为α=0.05。借助Stata 16.0软件开展全局空间自相关分析工作,运用SaTScan v9.5软件执行时空扫描分析操作,地理数据可视化通过ArcMap 10.7软件实现。

(2)全局空间自相关分析

对2009—2023年平凉市HFMD报告发病率按年度依次进行空间自相关分析,以全局Moran's I指数(取值范围从-1~1)为衡量指标,当Moran's I指数大于0,提示存在空间正自相关,小于0,则提示存在空间负自相关[6-7]。

(3)时空扫描统计分析

对2009—2023年平凉市HFMD进行离散型Poissin分布的时空扫描分析,步长设置为1个月。当P<0.05时,对数似然比(loglikehood ratio,LLR)越大代表该区域为聚集性区域的可能性越大,LLR最大的为一类聚集区,其他的为二类聚集区[6]。

(4)ARIMA模型

采用ARIMA(p,d,q)模型对2024年平凉市HFMD发病率进行预测。通过平稳性检验判断时间序列的平稳性,以确定是否需要进行数据变换或差分运算,从而确定差分阶数d值。通过绘制自相关函数(autocorrelation function, ACF)图及偏自相关函数(partial autocorrelation function, PACF)图,初步判断自回归阶数p和移动平均阶数q的取值范围。在所有可能的ARIMA(p,d,q)模型组合中,采用赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC)和贝叶斯信息准则(Bayesian information criterion, BIC)作为模型选

△通信作者:张旭,E-mail:1094686995@qq.com

择的标准[8]，选择AIC和BIC值最小的模型作为最优模型。对选定模型进行Ljung-Box检验，并绘制残差序列的ACF图和PACF图，以确认残差是否为白噪声序列，从而保证模型的预测精度。

结　果

1. 流行概况

2009—2023年平凉市共报告HFMD患者8749例，其中男性5489例，女性3260例，年龄最小仅为出生1天，最大的为70岁，平均年龄为2.9岁。报告病例中，重症19例，死亡8例，年均报告发病率为28.98/10万，重症率为2.17‰，死亡率为0.03/10万，病死率为0.91‰。报告发病率在2010年达到高峰，此后下降，2009—2011年重症率较高，均超过历年平均水平（2.17‰），死亡率与病死率均在2010年为最高而后呈下降趋势，2014—2023年均无死亡病例报告，见表1。

2. 流行特征

（1）人群分布

2009—2023年平凉市HFMD例中，男女性别比为1.68∶1（χ^2=27.695，P<0.05）。<5岁组儿童占全部病例的89.75%（χ^2=137.380，P<0.05），发病率居前3位的年龄组分别为1~岁（130.49/10万）、2~岁（89.98/10万）、3~岁（64.88/10万）。散居儿童占全部病例的73.61%（χ^2=568.977，P<0.05），见表2。

（2）时间分布

2009—2023年平凉市HFMD报告发病总体呈现出逐年下降的趋势且存在明显的季节性，主要表现在每年6—8月（SaTScan季节性分析LLR=3970.28，P=0.001），呈单峰分布。其中2014年和2019年表现出两个高峰，主高峰在6—8月，次高峰在10—12月，2015年和2017年主高峰表现在5—7月。2020— 2022年报告发病明显下降，2023年的报告发病较2022年有明显增加，见图1。

表1　2009—2023年平凉市手足口病流行概况

年份	病例数（例）	发病率（1/10万）	重症例数（例）	重症率（‰）	死亡例数（例）	死亡率（1/10万）	病死率（‰）
2009	891	40.47	3	3.37	1	0.05	1.12
2010	2231	100.78	10	4.48	5	0.23	2.24
2011	519	24.99	2	3.85	1	0.05	1.93
2012	401	19.26	0	0	0	0	0
2013	999	47.87	2	2	1	0.05	1
2014	298	14.24	0	0	0	0	0
2015	684	32.60	2	2.92	0	0	0
2016	343	16.31	0	0	0	0	0
2017	712	33.70	0	0	0	0	0
2018	562	26.52	0	0	0	0	0
2019	372	17.50	0	0	0	0	0
2020	71	3.85	0	0	0	0	0
2021	119	6.52	0	0	0	0	0
2022	48	2.63	0	0	0	0	0
2023	499	27.94	0	0	0	0	0
合计	8749	28.98	19	2.17	8	0.03	0.91

表2　2009—2023年平凉市手足口病人群分布特征

人口学特征		发病例数	发病率（/10万）	χ^2	P值
性别	男	5489	269.16	27.695	<0.001
	女	3260	159.86		
年龄	0~岁	618	30.30	137.380	<0.001
	1~岁	2661	130.49		
	2~岁	1835	89.98		
	3~岁	1323	64.88		
	4~岁	913	44.77		
	5~岁	502	24.62		
	6~岁	897	43.99		
职业	散居儿童	6440	315.79	568.977	<0.001
	幼托儿童	1600	78.46		
	学生	663	32.51		
	其他	46	2.26		

（3）空间分布

以年均发病人数的95%分位数设定为临界值，若观测值超过该临界值，则判定为异常。经计算，此临界值发病人数为200人。2009—2023年平凉市所辖5县1区1市均有HFMD的报告，2009年泾川县，2010年崆峒区、庄浪县、泾川县，2011年静宁县，2013年崆峒区、泾川县，2015年泾川县、灵台县以及2017年静宁县报告发病人数均显著高于95%分位数，为报告发病异常区域。其余年份各县区均有报告发病人数，但最高报告发病数均未超过设定的临界值。

3. 时空聚集性分析

（1）全局空间自相关分析

全局空间自相关分析结果显示，全局Moran's I值显示，除2009年、2017年、2018年、2020—2022年P值

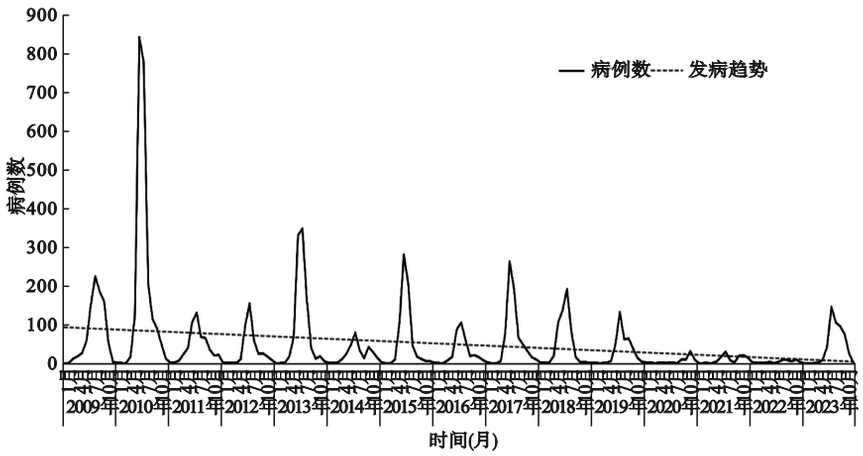


图 1　2009—2023 年平凉市手足口病时间分布特征

>0. 05 不存在聚集性外，其余年份平凉市 HFMD 报告发病均存在空间聚集性。其中 2010 年相关性最强，Moran’s *I*=0. 549，见表 3。

表 3　平凉市手足口病发病率全局 Moran’s *I* 值

年份	Moran’s *I*	*Z* 值	*P* 值
2009	0. 064	1. 338	0. 092
2010	0. 549	9. 250	0. 001
2011	0. 125	2. 316	0. 021
2012	0. 120	2. 278	0. 020
2013	0. 400	6. 509	0. 001
2014	0. 273	4. 641	0. 001
2015	0. 166	3. 128	0. 007
2016	0. 201	3. 735	0. 002
2017	0. 045	0. 989	0. 165
2018	0. 014	0. 338	0. 340
2019	0. 115	2. 025	0. 037
2020	0. 051	0. 980	0. 160
2021	0. 007	0. 238	0. 345
2022	0. 052	1. 107	0. 143
2023	0. 201	3. 411	0. 003

（2）时空扫描分析

时空扫描分析结果显示，平凉市 HFMD 发病存在明显的时空聚集，并非随机分布。时空扫描共探测到 1 个主要聚集区及 4 个次要聚集区，涉及 4 个年份 6 个县区，其中主要聚集区为崆峒区，聚集时间为 2010 年 6 月 1 日—7 月 31 日，实际病数为 972 例，期望病例数为 25. 31 例，*RR* 为 43. 08，LLR 为 2652. 57。4 个次要聚集区共包含 5 个县区，分别为庄浪县、泾川县、灵台县、静宁县和华亭市，聚集的时间分别为 2010 年 6 月 1 日—7 月 31 日、2015 年 6 月 1 日—7 月 31 日、2017 年 5 月 1 日—6 月 30 日及 2009 年 9 月 1 日—10 月 31 日，见表 4。

4. 模型预测

2009—2023 年平凉市 HFMD 报告发病率呈现季节周期性，对原始数据进行季节差分后结合 ACF 和 PACF 拖尾和截尾值按照 AIC 准则和 BIC 准则确定模型为 ARIMA（1，0，1）（0，1，1），R^2=0. 954，模型残差序列的 ACF 和 PACF 显示（残差全部落在 95% 置信区间）残差序列为白噪声序列。对 2024 年平凉市 HFMD 发病率进行预测，结果显示 2024 年预测年均发病率为 49. 18/10 万，且存在 6—8 月 1 个发病高峰，与以往年份发病高峰一致，见图 2。

表 4　2009—2023 年平凉市手足口病发病率时空聚集性分析

聚集区类型	聚集时间	涉及县区	实际病例数	期望病例数	*RR* 值	LLR 值	*P* 值
主要聚集区	2010 年 6 月 1 日—7 月 31 日	崆峒区	972	25. 31	43. 08	2652. 57	<0. 001
次要聚集区	2010 年 6 月 1 日—7 月 31 日	庄浪县	329	19. 20	17. 77	630. 57	<0. 001
次要聚集区	2015 年 6 月 1 日—7 月 31 日	泾川县、灵台县	335	21. 07	16. 49	618. 50	<0. 001
次要聚集区	2017 年 5 月 1 日—6 月 30 日	静宁县	175	19. 22	9. 27	232. 20	<0. 001
次要聚集区	2009 年 9 月 1 日—10 月 31 日	华亭市	80	8. 90	8. 98	104. 26	<0. 001

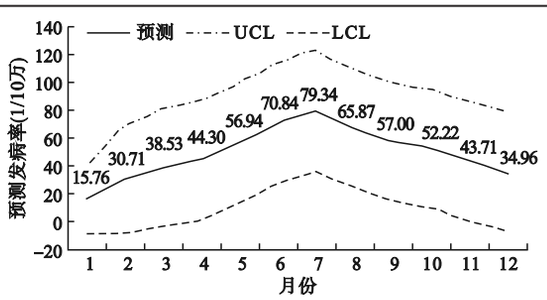


图 2　2024 年平凉市手足口病发病率 ARIMA 模型预测

讨　论

2009—2023 年平凉市共报告 HFMD 例 8749 例，年均报告发病率为 28. 98/10 万，重症率为 2. 17‰，死亡率为 0. 03/10 万，病死率为 0. 91‰。报告发病率低于甘肃省（41. 60/10 万）[9] 及全国的平均水平（147. 82/10 万）[10]。平凉市 HFMD 报告发病率具有明显的季节性，呈单峰分布，主要表现在每年的 6—8 月[11]，与甘肃

省、陕西省、山西省等地区双峰分布的流行特征有所不同[12-16]。研究表明，我国有16个省发病呈现单峰分布，集中在4—7月[17]，平凉市发病高峰出现较迟可能与当地气温升高以及雨季来临相对较晚等气象条件有关[18-21]，平凉市地处黄土高原的边缘地区，属于我国温度带中的暖温带，干湿地区中的半湿润地区，属于温带季风气候，因海拔相对较高，气温升高转暖较迟。而未出现次高峰原因可能与发病高峰出现较晚，秋季气温变化以及学校开学初期采取的严格防控措施有关。自2019年起，HFMD发病趋势显著下降，这可能与COVID-19疫情期间实施的公共卫生措施以及公众传染病防护意识的提高有关[22]。人群分布结果显示，平凉市HFMD病例主要集中在5岁以下儿童，占所有病例的89.75%，其中男童发病率高于女童，其原因可能是男童活泼好动，更容易发生密切接触，从而增加了HFMD的感染风险[17]。1岁组儿童发病率最高，其原因可能是随着儿童年龄的增长免疫系统逐渐趋于完善，抵抗力逐渐增强，一定程度上避免了HFMD发生的可能性[8]。

全局Moran's *I*指数揭示了2009—2023年平凉市HFMD报告发病率在大部分年份存在空间聚集性的特征。时空扫描分析识别出一个主要聚集区和四个次要聚集区，涉及4个年份6个县区，主要聚集时间为6—7月，全局Moran's *I*指数与时空扫描分析主要聚集时间相吻合。这种聚集性特征的形成与县（区）的地形地貌和气候条件密切相关[19-20]。利用ARIMA模型对2024年平凉市HFMD发病率进行预测，结果显示预计年均发病率为49.18/10万，处于历史年均报告发病率的正常波动范围内，预测值略高于2023年发病率，其原因可能是“免疫负债”[22-23]导致的，COVID-19疫情期间，严格的防控措施，长期未受到HFMD病原刺激，使得群体免疫力不足从而引发易感性的增加。模型预测6—8月为发病高峰期，这与2009—2023年的历史数据吻合，表明预测结果合理。

研究显示，平凉市HFMD发病时间集中在6—8月，5岁以下儿童高发，尤其是1~3岁散居儿童，其发病有明显的空间聚集性。为降低HFMD的发生率，确保儿童健康发展，应实施以下措施。首先，结合ARIMA模型预测结果，在HFMD发病高峰期，实施严格的防控措施，必要时限制大型聚集活动、加强公共场所消毒等。其次，对于抵抗力较弱的低龄儿童，通过疫苗接种、定期健康检查等措施，降低HFMD感染风险。最后，合理分配资源，积极改善生活环境卫生条件、提高居民卫生意识、普及防治知识、培养居民良好的卫生习惯等。

参 考 文 献

[1] 刘皓,刘新庆,刘晓萍,等. 2019年抚顺市手足口病流行特征分析[J]. 中国卫生统计,2021,38(1):65-66.
[2] 刘雅琼,童文彬,马小珍,等. 2017—2021年四川省手足口病流行病学和病原学特征分析[J]. 现代预防医学,2024,51(10):1742-1747.
[3] 詹美蓉,谢忠杭,蔡少健,等. 2009—2022年福建省手足口病变化趋势及时空聚集性分析[J]. 中国公共卫生,2024,40(9):1040-1044.
[4] 张钰嘉. 中国手足口病流行状况及其预测研究[D]. 太原:山西大学,2020.
[5] 万丽,任常军,赵树青,等. 应用ARIMA模型预测石家庄市手足口病发病趋势[J]. 中国卫生统计,2020,37(1):111-113.
[6] 刘海霞,刘新凤,杨筱婷,等. 甘肃省手足口病时间风险特征的空间聚集性探测研究[J]. 中国卫生统计,2021,38(6):895-898.
[7] 张文龙,鲁祎,杨慧,等. 我国手足口病流行特征及时空聚集性分析[J]. 中国卫生统计,2025,42(6):892-895.
[8] 曾娟,董辉,黄鑫,等. 河北省2014—2024年手足口病流行特征分析及趋势预测[J]. 现代预防医学,2025,52(18):3271-3275.
[9] 杨建军,冯燕,梁舒,等. 2010—2021年甘肃省手足口病监测分析及模型预测[J]. 疾病监测,2024,39(3):318-323.
[10] 王雅婷,朋文佳,苏华林,等. 2011—2018年中国手足口病发病的时空特征及影响因素研究[J]. 中华流行病学杂志,2022,43(10):1562-1567.
[11] 孔慧娟,王金霞,王新华,等. 2014—2019年平凉市手足口病流行病学及病原特征分析[J]. 医学动物防制,2021,37(7):635-638.
[12] 杨旭,吴建军,刘新凤,等. 2014—2018年甘肃省手足口病流行病学特征及病原学构成分析[J]. 现代预防医学,2020,47(14):2509-2512.
[13] 朱圭娜,侯怀哲,任雅丽,等. 2010—2018年庆阳市手足口病流行特征分析[J]. 现代预防医学,2020,47(6):976-979.
[14] 赵媛坤,蔡玉成,刘海军,等. 2016—2022年甘肃省陇南市手足口病流行病学特征及病原学监测分析[J]. 疾病监测,2024,39(8):979-983.
[15] 郑媛,徐艺,关路媛,等. 2010—2019年陕西省手足口病暴发疫情流行特征和病原学分析[J]. 现代预防医学,2020,47(15):2689-2691.
[16] 任浩,刘元,王旭春,等. 山西省2009—2020年手足口病流行特征及时空聚集性分析[J]. 中华流行病学杂志,2022,43(11):1753-1760.
[17] 陈小佳,黄邓高,冯桃. 2008—2018年我国手足口病流行性分析[J]. 海南医学院学报,2021,27(15):1142-1148.
[18] 王梦,雷娟,王子云,等. 气象因素对贵阳市5岁及以下儿童手足口病的影响及其交互效应研究[J]. 现代预防医学,2023,50(15):2726-2730.
[19] 张辉国,王培林,钟小爽,等. 手足口病与气象因素关联结构辨识研究[J]. 中国卫生统计,2025,42(3):397-400.
[20] 韩春英,苟发香,张晓曙,等. 2010—2018年甘肃省手足口病季节性流行第二峰气象驱动因素分析[J]. 中国公共卫生,2024,40(2):218-222.
[21] 郑艳妮,赵玉锐,李盛,等. 武威市手足口病与气象因子相关分析[J]. 疾病预防控制通报,2023,38(3):1-5.
[22] 张雨桐,宋杨,刘凤凤,等. 新型冠状病毒感染“乙类乙管”后我国手足口病流行特征与趋势分析[J]. 热带病与寄生虫学,2023,21(4):186-190.
[23] 冯倩,张媛媛,崔朋伟,等. 新冠大流行后的免疫负债[J]. 江苏预防医学,2023,34(2):126-128.

（责任编辑：林美艺）