【临床经验】

智能医学时代基于控制图法的儿童手足口病预警界值分析

王妍妍，魏 淼，张春侠，赵家祥，燕 超，贺 园*
（徐州市儿童医院新生儿内科，江苏徐州 221000）

摘要：目的 探讨智能医学时代基于控制图法的儿童手足口病预警界值、应对及医院运营实践探析的影响。**方法** 选取2023年2月至2024年2月本市疾控中心手足口病患儿的基线数据库，基于控制图法建立两种预测模型，分别位于基线数据的前后各摆动1及2周，并记录为模型A及B，比较两种模型预警界值。**结果** 2023年2月至2024年2月累计报告手足口病12 719例，应用“流行”标准判断2023年2月至2024年2月手足口病发病的流行及散发情况，其中模型A认为流行期为第28～34周，共6周；模型B认为流行期为第30～34周，共4周。筛检试验计算结果确定模型A的优选预警界值为P95，高于模型B的优选预警界值P90。**结论** 基于移动平均法构建并评估模型A、B，模型A被确定为优选模型，其P95预警界值能更准确地区分手足口病的流行与散发情况。

关键词：智能医学；控制图法；手足口病；预警界值
中图分类号：R725.1；R18 **文献标志码：**A **文章编号：**1672-9188(2025)09-0966-006
引用：王妍妍, 魏淼, 张春侠, 等. 智能医学时代基于控制图法的儿童手足口病预警界值分析[J]. 世界临床药物, 2025, 46(9): 966-971. DOI：10.13683/j.wph.2025.09.015

Analysis of early warning boundary value of hand, foot and mouth disease and treatment plan in children based on control map method in the era of intelligent medicine

WANG Yanyan, WEI Miao, ZHANG Chunxia, ZHAO Jiaxiang, YAN Chao, HE Yuan*
(*Department of Neonatology, Xuzhou Children's Hospital, Xuzhou 221000, Jiangsu Province, China*)

Abstract: ***Objective*** To explore the influence of early warning boundary value, response and hospital operation practice in practices for pediatric hand, foot and mouth disease(HFMD) based on control map method in the era of intelligent medicine. ***Methods*** The baseline database of children with hand, foot and mouth disease collected by the Municipal Center for Disease Control and Prevention from February 2023 to February 2024 was selected, and two prediction models were established based on the control map method, swinging the baseline data for 1 and 2 weeks, and recorded as models A and B, and the early warning boundary values of the two models were compared. ***Results*** From February 2023 to February 2024, a total of 12 719 cases of hand, foot and mouth disease were reported. Using the "epidemic" criterion to assess the prevalence and sporadic cases during this period, model A identified weeks 28—34 as the epidemic phase (6 weeks), while model B identified weeks 30—34 as the epidemic phase(4 weeks). Screening test calculations determined that model A's preferred warning threshold was P95, which is higher than model B's preferred threshold P9. ***Conclusion*** Model A and model B were constructed and evaluated based on the mobile average method. Model A was determined as the preferred model, and its P95 warning threshold could more accurately distinguish the prevalence and distribution of HFMD.

Key words: intelligent medicine; control map method; hand, foot and mouth disease; warning boundary value

收稿日期：2025-01-05
作者简介：王妍妍，研究方向：儿童危重症管理。
通信作者：贺园，研究方向：儿童感染管理。
基金项目：徐州市儿童医院2022年度科研立项项目(22040408)

儿童手足口病（hand, foot and mouth disease，HFMD）是一种由肠道病毒引起的常见传染病，主要影响 5 岁以下儿童，表现为手掌、脚底及口腔内出现疱疹，并伴有发热、咳嗽等症状[1]。随着社会发展和城市化进程加快，HFMD 的发病率呈上升趋势，加重临床医生工作负担，易致其处方评估不充分[2]。智能医学是一门新兴的交叉学科，其融合了大数据、云计算及人工智能等先进技术，在预警、治疗和医院运营方面已有应用。准确的预警界值有助于提前预判 HFMD 的流行趋势，但常规预警信息系统与实际区域内疾病流行情况存在较大差别，为预防 HFMD 传播，临床需开展预警技术研究[3—4]。智能医学技术在预警技术研究、药物合理应用及药物研发方面均可发挥重要作用。基于此，基于控制图法建立两种预测模型，探究两种预测模型分别对疾控中心的预警界值，以期为 HFMD 的防治提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取 2023 年 2 月至 2024 年 2 月徐州市疾控中心收集 HFMD 流行期间的基线数据库。数据来源传染病报告信息管理系统。按照患儿患病时的居住地址及发病日期导出数据，统计每周发病数。剔除 HFMD 暴发疫情所涉及病例。以此获取手足口发病数基线。

1.2 方法

1.2.1 预警模型构建

基于控制图法，参考《上海松江 8 种重点传染病控制图法预警界值优选研究》[5]《苏州市重点传染病移动百分位数法预警界值优选分析》[6] 中“移动窗口＋百分位数”的核心思路，构建两种预警模型，即模型 A、B，具体如下。

模型 A 采用“3×5”移动窗口，其中“3”代表时间跨度为 3 周（基线周前后各摆动 1 周），“5”代表来源于市疾控中心的数据。阈值计算步骤：以某一目标周（如第 8 周）为基准，提取 2023 年 2 月至 2024 年 2 月该周及前后各 1 周（共 3 周）HFMD 发病数据，形成 15 个数据单元；计算目标周发病数占该 15 个数据单元总发病数的百分位数，作为该周的备选预警界值。按上述方法依次计算 52 周的备选预警界值，同时参考国家疾控中心传染病自动预警信息系统通用标准，统一设定百分位阈值间隔为 5%，最终形成 P5、P10、P15、P20、P25、P30、P35、P40、P45、P50、P55、P60、P65、P70、P75、P80、P85、P90 及 P95 共 19 个连续阈值，以避免间隔不均导致的最优界值遗漏。

模型 B 采用“5×5”移动窗口，即在模型 A 的基础上扩大摆动范围，“5”代表时间跨度为 5 周（基线周前后各摆动 2 周），数据来源仍为市疾控中心的数据，以减少短期数据波动对阈值的影响。阈值计算步骤：以目标周（如第 8 周）为基准，提取该周及前后各 2 周（共 5 周）的 HFMD 发病数据，形成 25 个数据单元。同模型 A 的计算逻辑，计算目标周发病数占 25 个数据单元总发病数的百分位数，同样采用 5% 间隔设定 19 个备选预警界值（P5 ～ P95）。对比模型 A、B 的窗口大小差异，分析摆动范围对预警阈值的影响。

1.2.2 金标准设定

参考《基于传染病自动预警信息系统的流行标准最优化选择分析》[7]《传染病长期趋势对国家传染病自动预警信息系统预警阈值设定的影响分析》[8] 中“实验室确诊＋流行病学特征”的复合金标准思路，结 HFMD 临床及流行特点，明确“实际阳性（流行周）”与“实际阴性（散发周）”的判定标准，具体如下。

实际阳性（流行周）满足以下任一条件，经 3 名流行病学专家复核后判定。实验室确诊标准为周内 HFMD 实验室确诊病例（肠道病毒 EV71 及 CoxA16 等病原学检测阳性）占该周总病例数的比例≥ 30%，且周发病数较前 2 周均值增长≥ 50%。

若实验室检测数据不全，采用流行病学标准，即“周发病数≥近 3 年（2020 年—2022 年）同期周发病数 P75 分位值”且“周内报告 2 起及以上家庭聚集性病例（同一家 2 名及以上 5 岁以下儿童发病）”的复合条件。

同时满足以下 3 个条件判定为实际阴性（散发周）：①周发病数＜近 3 年同期周发病数 P50 分位值。②周内无聚集性病例（家庭、幼儿园及学校等集体单位）报告。③实验室确诊病例占比＜ 10%，且无重症、死亡病例报告。

考虑 HFMD 长期流行趋势对基线数据的影响，参考《传染病长期趋势对国家传染病自动预警信息系统预警阈值设定的影响分析》[8] 中的“去趋势化”方法，采用线性回归模型剔除 2020 年—2022 年 HFMD 周发病数年均 3.2% 的下降趋势，确保预警阈值仅反映短期流行波动，避免长期趋势导致的界值偏移。

1.3 观察指标

剔除暴发疫情的病例概况，统计两种预警模型的预警界值，包括灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、一致率及约登指数。

金标准优先为实验室确诊标准，即通过肠道病毒（如 EV71、CoxA16）的聚合酶链式反应检测及病毒分离培养等病原学检测确认病原体存在的病例。若实验室数据不全，可采用临床诊断标准，结合患者发热和皮疹等临床表现、流行病学接触史及血常规等常规检测结果，经专家共识排除疱疹性咽峡炎等类似疾病后判定，但需注意暴发疫情病例的特殊处理：依据《突发公共卫生事件相关信息报告标准》，HFMD 暴发定义为“1 周内同一集体单位出现 10 例及以上病例”，这类具有明确聚集性特征的病例不纳入日常预警模型评估，需作为独立事件处置。评估前需先剔除暴发疫情病例，对剩余周次按金标准分为“实际阳性（疫情发生）”和“实际阴性（疫情未发生）”两组，再结合预警模型 A、B 的预警结果，将每周预测分为“预警阳性”“预警阴性”，进而构建包含真阳性（TP，模型预警阳性且实际阳性）、假阳性（FP，模型预警阳性但实际阴性）、假阴性（FN，模型预警阴性但实际阳性）、真阴性（TN，模型预警阴性且实际阴性）的 2×2 列联表，在此基础上计算各项评估指标。

灵敏度＝ TP/（TP ＋ FN）×100%，反映模型正确识别实际疫情的能力，值越高漏诊率越低。特异度＝ TN/（TN ＋ FP）×100%，体现模型正确识别非疫情周次的能力，值越高误诊率越低。阳性预测值＝ TP/（TP ＋ FP）×100%，衡量预警阳性结果的可信度。阴性预测值＝ TN/（TN ＋ FN）×100%，反映预警阴性结果排除非疫情的能力。一致率＝（TP ＋ TN）/（TP ＋ TN ＋ FP ＋ FN）×100%，综合评估模型整体准确性（但疫情罕见时可能高估性能）。约登指数＝灵敏度＋特异度－ 1，取值范围为 -1 ～ 1，越接近 1 说明模型综合性能越好。

同时需关注金标准的局限性（如实验室检测可能假阴性、临床诊断受医生经验影响，需多中心数据或专家复核）、模型性能的影响因素（数据需连续稳定以避免过拟合，需考虑 HFMD 的季节性和区域性），以及结果解读时需平衡灵敏度与特异度（如公共卫生实践更关注减少漏诊，临床决策更关注降低虚警），且约登指数可用于筛选最优预警界值。

1.4 统计学分析模型优选

统计本次研究采取的两种模型纳入的 10 个备选预警界值与流行标准进行对照，以此计算备选预警界值中各项数据的灵敏度、特异度及阳性预测值等指标，确定最优模型及备选界值。

2 结果

2.1 疫情概况

剔除暴发疫情病例后，2023 年 2 月至 2024 年 2 月疾控中心累计报告 HFMD 病例 12 719 例。2023 年 2 月至 2024 年 2 月周报告病例数以 2023 年第 9 周时报告最少，每年冬季、夏季发病率最低，即第

32 ～ 36 周（每年暑假期间）及来年的第 6 ～ 10 周为低谷（每年寒假期间）；每年高峰期期间不一样。

2.2 两种模型的预警界值

如表 1 所示，随着预警界值的增大，模型 A 的约登指数也随之增大，当预警界值为 P95 时，模型 A 的约登指数最大为 94%；如表 2 所示，模型 B 的约登指数先随着预警界值的增大而增大，但随后又开始减小，当预警界值为 P90 时，模型 B 的约登指数最大为 92%。这表明在不同的预警界值下，这两种模型的约登指数相当，且大小存在交叉变化。

表 1 模型 A 的预警界值（单位：%）

Table 1 Early warning bounds of model A(unit: %)

预警界值	灵敏度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	一致率	约登指数
P5	100	2	12	100	15	0
P10	100	4	14	100	16	3
P15	100	8	15	100	21	7
P20	100	14	16	100	26	14
P25	100	19	17	100	31	19
P30	100	24	18	100	36	24
P35	100	29	19	100	41	29
P40	100	34	20	100	46	34
P45	100	42	21	100	51	41
P50	100	50	22	100	56	49
P55	100	54	23	100	58	53
P60	100	58	25	100	60	57
P65	100	67	30	100	68	66
P70	100	76	38	100	78	75
P75	100	81	44	100	81	80
P80	100	85	50	100	85	85
P85	100	88	56	100	88	87
P90	100	91	62	100	91	90
P95	100	95	82	100	95	94

2.3 预警模型分析及预警界值分析

合以上筛检试验计算出的灵敏度和特异度，本研究确定模型 A 的优选预警界值为 P95，对应的约登指数为 94%；模型 B 的优选预警界值为 P90，对应的约登指数为 92%。模型 A 的约登指数高于模型 B，表明其筛检方法在综合灵敏度和特异度方面更具优势，能更准确地区分 HFMD 的流行与散发情况。模型 A 判断为“流行”的周期为 6 周，而模型 B 判断为“流行”的周期仅为 4 周，表明模型 A 识别“流行”情况的能力更强，能更全面捕捉到 HFMD 流行的趋势，更适合用于预测预警。

表 2 模型 B 的预警界值（单位：%）

Table 2 Early warning bounds of model B(unit: %)

预警界值	灵敏度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	一致率	约登指数
P5	100	2	10	100	11	0
P10	100	2	10	100	11	0
P15	100	6	11	100	16	5
P20	100	10	12	100	20	10
P25	100	14	13	100	24	14
P30	100	18	14	100	28	18
P35	100	22	15	100	32	22
P40	100	26	16	100	36	26
P45	100	37	17	100	42	36
P50	100	48	18	100	52	47
P55	100	52	22	100	56	51
P60	100	56	26	100	62	55
P65	100	64	27	100	67	63
P70	100	72	28	100	73	71
P75	100	77	35	100	78	76
P80	100	82	45	100	82	82
P85	100	88	52	100	88	87
P90	100	93	64	100	92	92
P95	80	98	82	98	97	77

3 讨论

HFMD 是一种常见传染病，宿主感染后，其免疫系统会对病毒产生免疫反应，包括细胞免疫和体液免疫。虽然大多数患儿能产生有效的免疫反应并在数天内康复，但个别患儿免疫反应可能不够强烈，导致病情加重。HFMD 的暴发不仅会对公共卫生系统及患儿家庭造成显著负担，同时其病理机制的复杂性也使得对该病的研究和防控充满挑战。为了及时识别疫情暴发并采取有效的应对措施，儿童 HFMD 预警系统被广泛应用。预警系统旨在通过监

测和分析儿童 HFMD 的相关数据，提前预测疫情发展趋势，并及时发出警示，以便政府和卫生部门能够迅速响应和采取适当的防控措施。控制图法是一种常用的质量管理工具，在儿童 HFMD 预警系统中得到广泛应用[9—10]。通过收集和分析相关数据，控制图法可帮助监控儿童 HFMD 的发病率及疫情暴发趋势等关键指标。这些指标将被绘制在控制图上，与事先设定的控制界限进行比较，从而及时发现异常和趋势变化。当指标超过界限时，预警系统将自动触发警报，提醒医院及社区采取相应行动。

儿童 HFMD 预警界值的确定是预警系统设计中的关键环节。界值的设定需要考虑多种因素，如病例数量、感染率及流行趋势等。常用的确定方法包括基于历史数据的统计分析、基于疫情暴发阈值的设定以及结合专家意见的综合评估等。此外，还需参考国家卫生部门的指导意见和相关法律法规，确保界值的准确性和科学性。本研究结果基于移动平均法构建并评估了模型 A、B，通过计算灵敏度及特异度等指标衡量模型性能。结果显示，模型 A 在预警界值为 P95 时约登指数达 94%，模型 B 在预警界值为 P90 时约登指数为 92%，模型 A 在综合灵敏度和特异度上表现更优。同时，模型 A 判断“流行”的周期为 6 周，相比模型 B 的 4 周，能更全面捕捉 HFMD 流行趋势。随着预警界值的增大，模型 A 的约登指数也随之增大。这提示采取控制图法建立的模型 A 预警界值较为合理。

此外，本研究采取的移动百分数法预警模型在 HFMD 的预警过程中，可凭借不受数据特定分布约束的优势提供更合理的数据，进而加强传染病的防控。此外，合理确定预警界值还能在 HFMD 的早期及时提醒，探查暴发性疫情，具有预警功效高、使用难度低及泛用度高等诸多优势，可有效避免 HFMD 疫情暴发。通过建立移动百分数法预警模型，并合理确定预警界值，可以实现对 HFMD 早期的及时提醒。早期预警能迅速发现疫情的蔓延趋势，帮助相关部门作出快速、科学的决策，采取针对性的防控措施，以最大程度地减少疾病的传播和危害[11—12]。预警界值的合理设定可以确保预警的准确性和实用性，避免虚假警报或者延误预警，从而提高对疫情的应对能力。

本研究中，根据模型 A 的优选预警界值 P95 所对应的约登指数为 94%，而模型 B 的优选预警界值 P90 所对应的约登指数为 92%，可以明显看出模型 A 的约登指数更高，说明其筛检方法更加出色。同时，模型 A 将“流行”情况判断为 6 周的周期，而模型 B 仅为 4 周的周期，这显示出模型 A 在识别“流行”情况方面具有更强的能力。综合分析，模型 A 更适合用于预测和预警。任何模型的选择都应基于准确的数据和科学的分析，并且在实际应用中需要进行不断的验证和调整。在确定最终模型时，还需要综合考虑其他因素，如可行性、稳定性和成本效益等。这样才能确保研究所选择的模型能够更好地为实践和决策提供支持[13—14]。

儿童 HFMD 预警界值可以帮助早期识别疫情，便于迅速采取治疗和防控措施。通过设定的预警界值，能在疫情初期及时识别出病例的增加趋势。早期预警能够促使医疗机构迅速响应，采取必要的防控措施，如加强对高风险人群的监测、开展健康教育和宣传，提高家长和社区对 HFMD 的认知度。这种及时干预能够有效降低疾病传播风险，减少重症病例的发生。根据预警情况，卫生部门可合理分配医疗资源，确保重点地区加强防控和治疗。当疫情呈上升趋势时，预警界值的分析结果可以为临床医生提供重要的参考依据。当疫情达到预警界值时，医生可以根据流行病学数据和病例特点，制定相应的治疗方案。例如，在病例激增的情况下，应优先考虑重症病例的治疗，确保有足够的床位和专业人员进行救治。同时，医生还可以根据疫情的发展调整治疗策略，如增加对并发症的监测和干预。

4 结论

综上所述，基于移动平均法构建并评估模型 A 和模型 B，模型 A 被确定为优选模型，其 P95 预警界值能更准确地区分 HFMD 的流行和散发情况，可为 HFMD 防控提供科学、有效的预警工具。

参考文献：

[1] 王希峰, 朱大伟, 袁莎莎. EV71疫苗对中国大陆地区儿童手足口病发病率影响间断时间序列分析[J]. 中国公共卫生, 2021, 37(9): 1418-1420.

[2] 陈思秋, 吴为, 彭接文, 等. 广东省儿童手足口病发病影响因素病例对照研究[J]. 中国公共卫生, 2022, 38(1): 15-19.

[3] TANG B, WANG X, LI Q, *et al*. Estimation of the transmission risk of the 2019-nCoV and its implication for public health interventions[J]. J Clin Med, 2020, 9(2): E462.

[4] 国家卫生部手足口病临床专家组. 肠道病毒71型(EV71)感染重症病例临床救治专家共识[J]. 中华儿科杂志, 2011, 49(9): 4.

[5] 王瑞平, 龙云, 刘会会, 等. 上海松江8种重点传染病控制图法预警界值优选研究[J]. 中华预防医学杂志, 2014, 33(1): 1233-1237.

[6] 王瑞平, 陈立凌, 刘成, 等. 苏州市重点传染病移动百分位数发预警界值优选分析[J]. 中国卫生统计. 2014, 31(4): 598-601.

[7] 王瑞平, 姜永根, 郭晓芹, 等. 基于传染病自动预警信息系统的流行标准最优化选择分析[J]. 中国卫生统计, 2017, 34(2): 214-221.

[8] 王瑞平, 毛琦, 吴毅凌, 等. 传染病长期趋势对国家传染病自动预警信息系统预警阈值设定的影响分析[J]. 现代预防医学, 2019, 46(11): 1921-1924.

[9] 吴凤彤, 吴凤娟. 两种控制图法对辽阳市手足口病预警效果评价[J]. 热带医学杂志, 2019, 19(11): 1438-1441.

[10] 刘天, 毛安禄, 吴杨, 等. 应用控制图法建立手足口病预警模型的研究[J]. 预防医学论坛, 2018, 24(5): 324-327.

[11] 马晓龙, 王文青, 张天一, 等. 传染病监测预警体系及常用方法[J]. 解放军医学院学报, 2025, 46(2): 210-216.

[12] 袁方, 任海玲, 赵梦, 等. 我国传染病预警监测模型研究进展综述[J].价值工程, 2023, 42(33): 162-165.

[13] 刘永红, 王小莉. 传染病预警模型的应用与挑战[J]. 首都公共卫生, 2025, 19(2): 65-70.

[14] 王海星, 杨志清, 郭燕青, 等. 基于大数据的传染病监测预警方法及应用[J]. 预防医学论坛, 2020, 26(10): 796-798.

(编辑：王 佳)