

基于 Hopfield 神经网络模型识别珠海市麻疹点状暴发高风险地区

尹锡玲 黄晖 关天姬 方坚锐 李海燕 阮峰

广东省珠海市疾病预防控制中心, 广东珠海, 519000

[摘要] **目的** 建立Hopfield神经网络模型, 对珠海市麻疹点状暴发的发病风险进行综合评估, 识别高风险地区。**方法** 确定发病率、接种率、监测系统运转质量、疫点处置共四大类9项指标, 利用矩阵实验室 (Matrix Laboratory, Matlab) 软件工具箱中的Hopfield神经网络模型进行建模。**结果** 香洲区麻疹点状暴发疫情风险等级为“极高风险”, 金湾区为“高风险”, 斗门区为“低风险”。**结论** Hopfield神经网络模型可对麻疹疫情风险进行综合评估, 初步识别点状暴发的高风险地区。

[关键词] Hopfield神经网络模型; 麻疹

Identification of high-risk areas for sporadic measles outbreaks based on Hopfield neural network model in Zhuhai

YIN Xi-ling, HUANG Hui, Guan Tian-ji, FANG Jian-rui, LI Hai-yan, RUAN Feng.

(Zhuhai Municipal for Disease Control and Prevention, Zhuhai Guangdong, 519000, China)

Corresponding author: RUAN Feng, E-mail: fruan@126.com

[Abstract] **Objective** Hopfield neural network model was established to assessment the risk of sporadic measles outbreaks and identify high risk areas. **Methods** 9 indicators were determined as parameters to model the Hopfield neural network using Matrix lab software. The indicators included four types of the incidence, vaccination rate, running quality of measles monitoring system, and disposition of epidemic spot.

Results The level of the risk of sporadic measles outbreaks in Xiangzhou District was identified as "extreme high risk". The risk level of Jinwan District, Doumen District was "high risk" and "low risk", respectively. **Conclusions** Hopfield neural network model could be used to assessment the risk of sporadic measles outbreaks and identify high risk areas preliminarily.

[Key words] Hopfield neural network model; Measles

作者单位: 广东省珠海市疾病预防控制中心, 广东珠海, 519000

作者简介: 尹锡玲 (1982—), 女, 硕士研究生, 从事疫苗可预防疾病的监测及控制工作。

通讯作者: 阮峰, E-mail: fruan@126.com

麻疹是一种严重危害人群健康的急性呼吸道传染病，传染性极强^[i]。对重点地区麻疹疫情发生和传播划分风险等级，及时识别低发病率状态下点状暴发的高风险地区，可为防控工作提供有针对性的先遣建议。目前识别高风险地区的风险评估模式多基于 Delphi 法对相关指标进行研判^[ii]，进而量化为分数，对发病风险进行等级判定。但影响麻疹发病的因素较多，且相互之间存在交互作用，预测指标存在多重共线性，用简单的量化分数去评定风险等级，识别高风险地区，主观因素较大，存在一定局限性，且尚无统一指标量表。本文应用离散型 Hopfield 神经网络^[iii]初步识别珠海市麻疹点状暴发高风险地区。

1 资料与方法

1.1 数据来源 报告疑似麻疹病例数据来源于麻疹监测信息报告管理系统。接种率数据来源于现场接种率快速评估。

1.2 评价对象 珠海市香洲区、金湾区、斗门区。

1.3 评价指标及风险等级判定

1.3.1 评价指标 四大类共 9 项评估指标。第一大类指标即麻疹发病率指标,包括 2005-2009 年麻疹平均发病率（/10 万）（X1）和 2013 年麻疹发病率（/10 万）（X2）。第二大类指标即 2013 年含麻疹成分疫苗（Measles Contained Vaccines, MCV）接种率，包括 9 月龄及时接种率（%）（X3）和排除病例接种率（%）（X4）。第三大类指标即 2013 年监测系统运转质量，包括病例中适龄儿童比例（%）（X5）、排除病例报告发病率（/10 万）（X6）和第一份血标本 3d 内实验室结果反馈率（%）（X7）。第四大类指标即 2013 年疫点处置情况，包括疫点 3 天内及时处置率（%）（X8）和疫点 7 天内完成应急接种率（%）（X9）。

1.3.2 风险等级判定原则

1.3.2.1 有文献支持 8 月龄儿童尽可能在 1 个月内完成 MCV 接种，及时接种率 $\geq 90\%$ ^[iv]；Harpaz 等^[v]推荐明确地理区域内“排除麻疹病例报告发病率” $\geq 1/10$ 万/年来评估麻疹监测系统的敏感性；第一份血标本 3d 内实验室结果反馈率达到 $\geq 90\%$ ；“疫点 3 天内及时处置率” $\geq 90\%$ ^[vi]；达到标准，即划分为“低风

险”及以下。

1.3.2.2 无文献支持 如发病率、病例中适龄儿童比例等指标按历史数据，采用 P20、P40、P60、P80 划分风险等级。

1.4 研究方法 Hopfield 神经网络是由若干基本神经元构成的一个单层全互连对称神经网络，有离散型及连续型之分。离散型 Hopfield 网络是一种反馈型单层二值型神经元网络，此模型定义 $X=[x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 为网络状态的矢量，其分量是 n 个神经元的输出 $[O_1, O_2, \dots, O_n]$ ，仅取 -1 或 1 二值。该模型具有联想记忆功能（图 1）。

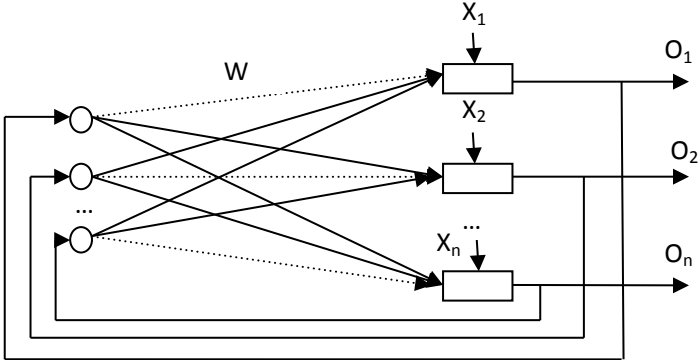


图 1 Hopfield 神经网络模型基本构造图

1.5 应用软件 应用矩阵实验室（Matrix Laboratory，Matlab）7.0 软件中神经网络工具箱的 newhop() 函数创建网络，利用 sim() 函数进行仿真。

2 结果

2.1 确定评估指标及等级划分 麻疹发病率、MCV 接种率、监测系统运转质量、疫点处置四大类 9 项评估指标及分级标准见表 1。珠海市 3 个行政区的麻疹点状暴发疫情风险评估指标数值见表 2。

表 1 风险评估指标分级标准

指标		风险等级					
		极低风险	低风险	中等风险	高风险	极高风险	
X1	2005-2009 年麻疹平均发病率（/10 万）	<1	[1,5)		[5,10)	[10,15)	≥15
X2	2013 年麻疹发病率（/10 万）	<1	[1,2)		[2,4)	[4,6)	≥6
X3	9 月龄及时接种率（%）	≥95	[90,95)		[85,90)	[80,85)	<80
X4	排除病例接种率（%）	≥95	[90,95)		[85,90)	[80,85)	<80
X5	病例中适龄儿童比例（%）	<30	[30,40]		[40,50]	[50,60]	≥60

X6	排除病例报告发病率 (/10 万)	≥ 2	[1,2)	[0.5-1)	(0-0.5)	0
X7	第一份血标本 3d 内实验室结果反馈率 (%)	≥ 95	[90,95)	[85,90)	[80,85)	<80
X8	疫点 3 天内及时处置率 (%)	≥ 95	[90,95)	[85,90)	[80,85)	<80
X9	疫点 7 天内完成应急接种率 (%)	≥ 95	[90,95)	[85,90)	[80,85)	<80

表 2 珠海市麻疹点状暴发疫情风险评估指标

区	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
香洲区	18.29	7.62	83.33	62.96	50.00	5.27	86.46	79.82	78.79
斗门区	9.70	2.12	90.00	100.00	22.22	1.41	95.00	90.89	90.89
金湾区	10.14	3.07	80.00	100.00	37.50	0.77	75.00	84.71	84.71

2.2 建立离散型 Hopfield 神经网络模型并仿真 将评估指标映射为神经元状态。

五个理想的等级编码如图 2 所示，以它们为训练样本，训练 20 次后，Hopfield 神经网络达到并储存的平衡点即为各个分类等级所对应的评价指标。

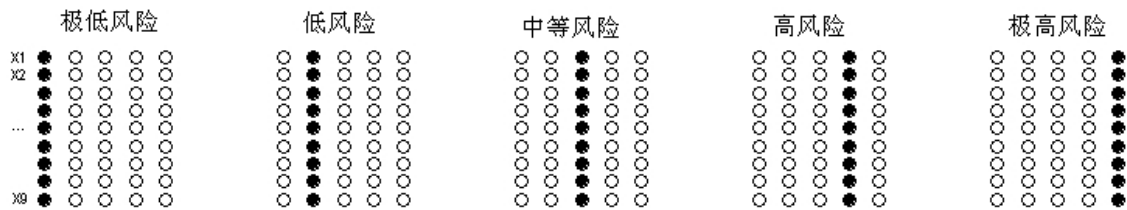


图 2 理想状态等级编码

将待分类的指标等级编码输入Hopfield神经网络，得到模型仿真结果。香洲区麻疹点状暴发疫情风险等级为“极高风险”，金湾区为“高风险”，斗门区为“低风险”（图3）。

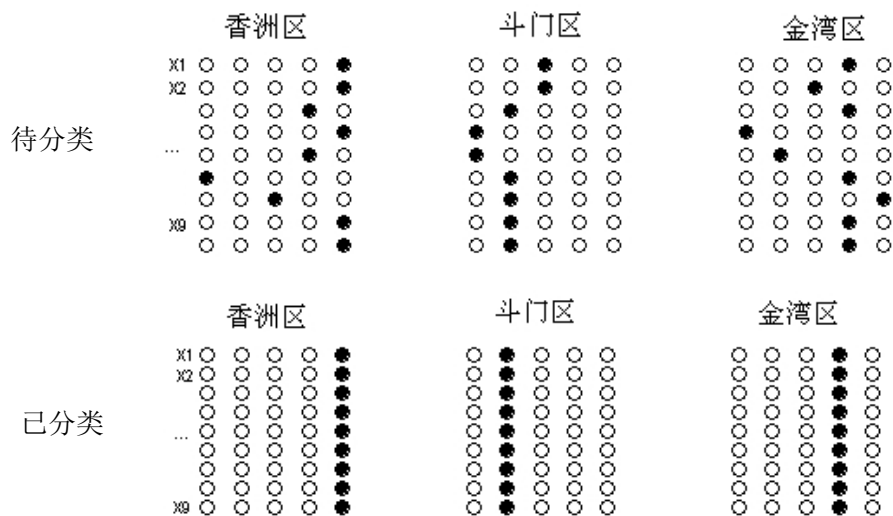


图3 珠海3个区的麻疹点状暴发疫情风险评估仿真结果

3 讨论

目前用于麻疹疫情风险评估, 识别高风险因素或地区的模型较少。珠海市2009、2010年经过2次麻疹疫苗强化免疫后, 发病率显著下降, 且无明显发病季节高峰^[vi]。但存在由院内感染或家庭内传播引起的聚集性疫情^[viii]。在低发病率情况下, 如何有效识别可能存在的点状暴发高风险地区是亟待解决的问题。Benn Sartorius等^[ix]以麻疹监测病例数据、接种率、人口密度等指标采用Bayes分层泊松模型计算不同地区的危险比(Risk ratio, RR), 识别南非麻疹点状暴发的高风险地区。该模型直观但较复杂, 不易推广。Hopfield神经网络模型是迄今人工神经网络模型中得到最广泛应用的神经网络之一, 它在联想记忆、分类及优化计算方面得到了成功的应用。该网络在处理非线性、不确定性方面有诸多优势。离散型Hopfield神经网络采用联想记忆模式, 能够有效地对评估对象进行分类。现较多应用非医学其他领域^[x, xi], 尚未应用于识别麻疹疫情高风险地区。本文应用离散型Hopfield神经网络判定麻疹点状暴发疫情风险等级, 香洲区为“极高风险”, 金湾区为“高风险”, 斗门区为“低风险”。初步识别珠海市点状暴发的高风险地区为香洲区及金湾区。

麻疹疫情发生风险与先前易感人群累积和人口密度显著相关。“2005-2009年麻疹平均发病率”反映强化免疫前的麻疹潜在发病风险, 结合2013年麻疹发病率, 反映易感人群累积程度和人口密度, 以及近年疫情发展趋势。麻疹的人群免疫力在所有地区都达到93%~95%以上, 才能预防麻疹流行^[xii]。2013年现场接种率快速评估显示, 各区MCV接种率均为100%, 但已达9月龄的儿童及时接种率存在一定差别。及时接种疫苗对麻疹防控意义重大, 因此将及时接种率纳入评价指标体系。监测系统中排除病例的接种率、病例中适龄儿童比例对现场接种率调查结果进行有益补充。排除病例报告发病率反映监测系统的敏感程度^[xiii]。目前珠海市要求医疗机构采集疑似麻疹病例血标本后24h内送达麻疹实验室, 要求麻疹实验室2天内报告检测结果, “血标本3d内实验室结果反馈率”不仅作为评价送检、检测的及时

性指标，同时反映监测系统运转质量，关系到病例能否及时确诊，及时采取处置措施，防止疫情播散。此外，疫情报告后应于3天内启动疫情处置工作、7天内完成应急接种工作^[6]。最终确定四类9项指标进行评估，这些指标具有代表性、易获得，基本涵盖麻疹疫情发生到处理的各个方面。各指标之间存在联系，对发病存在直接或间接影响。

若按指标等级编码进行赋分，则香洲区点状暴发疫情风险与金湾区仅相差1分。且如何依据分数判定风险等级，仍值得商榷。但构建离散型 Hopfield 神经网络模型，利用网络稳定的平衡点来存储记忆样本，即存储标准风险等级模式，输入待分类的风险等级，按照反馈动力学运动规律唤起记忆，直接得到仿真分类结果，不需人为赋权，减少主观因素影响。香洲区麻疹点状暴发疫情风险等级为“极高风险”。香洲区人口密集，且流动人口较多，市级及以上医疗机构集中在香洲区，面向珠海患者的同时也接纳珠海周边地市的患者，面临周边地市麻疹发病的压力较大。金湾区是珠海市工业的中心区域，异地务工人员较多。此两区存在点状暴发的风险因素较多。

离散 Hopfield 神经网络的评价方法比以往传统的赋分方法可操作性强，减少主观因素影响，是应用于识别麻疹疫情高风险地区的首次尝试与探索，模型结果可初步提供参考。该模型在低发病率状态下可以识别点状暴发的高风险地区，有进一步推广的价值。但 Hopfield 神经网络难以表达权重，且考虑各指标权重，从而匹配相应神经元数量可以提高评价结果精度；评估对象内部等级差异较大的情况下，模型会仿真失败，笔者曾试图对珠海下辖乡镇（街道）进行麻疹点状暴发高风险识别，遇到此类问题。模型有待进一步完善，是下一步研究的重点和难点。

参考文献

-
- [i] 连文远.计划免疫学[M].第2版.上海:上海科技出版社,2001: 359.
 - [ii] 许振国,陈双艳,高子厚,等.传染病风险评估体系研究进展[J].疾病监测,2012,27（10）:834-837.
 - [iii] Hopfield JJ. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities.[J]. Proc Natl Acad Sci U S A.1982,79(8): 2554-2558.
 - [iv] 卫生部.关于做好2011年消除麻疹工作的通知[Z].2011-04-18.
 - [v] Rafael Harpaz, Mark J Papania. Can a Minimum Rate of Investigation of Measleslike Illnesses Serve as a Standard for Evaluating Measles Surveillance[J]. Journal of Infectious Diseases,2004, 189(Suppl 1): S204-209.

-
- [vi] 广东省卫生厅.广东省麻疹疫情调查处理技术规范(试行)[Z]. 2013-07-25.
- [vii]黄 晖,阮 峰,关天姬,等.珠海市 2005-2011 年麻疹减毒活疫苗强化免疫前后麻疹流行病学特征[J].实用预防医学, 2013,20 (2) :183-184.
- [viii]叶中文,黄晖,晁斌,等.两起麻疹聚集性疫情的流行病学关联调查分析[J].实用预防医学, 2014,21 (9) :1077-1079.
- [ix] Benn Sartorius,C Cohen,T Chirwa,*et al.* Identifying high-risk areas for sporadic measles outbreaks: lessons from South Africa[J]. Bull World Health Organ.2013, 91(3): 174–183.
- [x] 龙腾锐,郭劲松,霍国友,等.水质综合评价的 Hopfield 网络模型[J]. 重庆建筑大学学报. 2002,24(2):57-59.
- [xi] 陈仕鸿,刘晓庆.基于离散型 Hopfield 神经网络的台风灾情评估模型[J].自然灾害学报, 2011,20 (5) :47-52.
- [xii]World Health Organization. Measles Vaccines: WHO Position Paper [J]. WER,2009, 84 (35):349-360.
- [xiii]World Health Organization. Monitoring progress towards measles elimination[J].WER,2010, 85(49): 490-495.