

脆弱性评价在公共卫生突发事件预警理论模型构建中的应用

范晨芳¹, 杨一风², 曹广文^{2*}

(1. 总后卫生部人民军医出版社, 北京 100082; 2. 第二军医大学卫生勤务学系流行病学教研室, 上海 200433)

[摘要] **目的:**加强公共卫生突发事件预警的理论与方法研究, 在发生突发事件时能及时获取信息, 正确分析形势, 有效采取措施。**方法:**对公共卫生突发事件脆弱性的基本内涵及其脆弱因子进行探讨, 对当前人群健康脆弱性评估的指标体系和评估的方法进行系统研究, 运用可拓理论和脆弱性评价理论进行预警实践。**结果:**构建了基于公共卫生突发事件脆弱性评价基础上的多指标危机预警可拓模型, 并对某地区的人群健康状况进行了评价。**结论:**将环境科学中的脆弱性评价引入突发公共卫生预警领域, 通过建立人群健康脆弱性评估模型, 可对某地区的基于公共卫生威胁的人群健康状况进行评价。

[关键词] 脆弱性; 预警; 可拓理论; 模型

[中图分类号] R 12 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2007)10-1116-04

Application of vulnerability appraising in constructing theoretical model for early warning of emergent public health event

FAN Chen-fang¹, YANG Yi-feng², CAO Guang-wen^{2*} (1. People's Military Medical Press, Department of General Logistics of PLA, Beijing 100082, China; 2. Department of Epidemiology, Faculty of Health Services, Second Military Medical University, Shanghai 200433)

[ABSTRACT] **Objective:**To strengthen the research on theory and method of early warning for emergent public health event, so as to obtain timely information, correctly analyze the situation, and apply effective measures when the event happens. **Methods:** The definition of vulnerability of emergent public health event and the vulnerability factors were discussed. The indicator system and the evaluating method for public health vulnerability were systematically studied. The extenics theory and the theory of vulnerability evaluation were used for warning exercise. **Results:** We constructed an extenics model for early warning of emergent public health event; the model was used to evaluate the public health of a population. **Conclusion:** The theory of vulnerability evaluation is introduced in emergent public health event to construct an extenics model for early warning of emergent public health event; the model can be used to evaluate the public health of certain population.

[KEY WORDS] vulnerability; early warning; extenics; model

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2007, 28(10):1116-1119]

脆弱性评价在突发公共卫生事件预警及处理中具有十分重要的作用。它是对引起突发事件和防范力量进行深入分析和综合判断, 为预警方案、处置对策、具体措施的提出提供建议, 从而指导突发事件的应急处理起到重要作用, 是一项重要的前期工作, 也是各级政府和卫生行政主管部门进行科学决策的重要依据。将环境科学中的脆弱性评价引入突发公共卫生预警领域, 通过建立人群健康脆弱性评估模型, 可对某地区的基于公共卫生威胁的人群健康状况进行评价。

1 基于公共卫生威胁-人群健康的脆弱性评价概述

1.1 脆弱性概念 近年来, 脆弱和脆弱性(vulnerability)一词经常出现在环境、生态、计算机网络及电力系统等领域的有关文献中, 用来描述相关系统及其组成要素易于受到影响和破坏, 并缺乏抗拒干扰、恢复初始状态(自身结构和功能)的能力。与脆弱性

相近的词语还有“敏感性(susceptibility)”、“易损性(fragility)”或“不稳定性(unstability)”等, 它们在不同的学科中有不同的含义^[1]。美国 Sandia 国家实验室(Sandia National Laboratories)将脆弱性定义为: 可攻击的设施安全薄弱环节^[2]。国际减灾策略委员会(International Strategy for Disaster Reduction)将脆弱性定义为: 由于人类活动而导致的一种状态, 该状态描述社会对于灾害所受影响以及自我保护的程度^[3]。我们认为, 基于公共卫生威胁-人群健康脆弱性是指人群健康系统中由于某些因素发生变动, 人群健康造成的损失的可能性及程度, 它反映了人群对于危害损失的敏感程度。

[基金项目] 国家自然科学基金(70340015)。Supported by National Natural Science Foundation of China(70340015)。

[作者简介] 范晨芳, 博士, E-mail: fcfanny@163.com

* Corresponding author. E-mail: gcao@smmu.edu.cn

1.2 脆弱性成因 人群健康会因为各种原因而变得脆弱,如:自然灾害、流行病暴发、食物中毒事件、安全防范措施不健全、人群密度增大等,这其中既有致灾因素,也有人群本身因素以及防范因素。脆弱性是由自然、社会、经济等多种因素决定的,是环境对人类健康作用的结果。人群健康的脆弱性包括人群最初存在的脆弱性和后来增加的安全措施的脆弱性。人群健康遭受危害,原因之一在于人群本身存在脆弱性,其二是后来增加的安全防范措施存在脆弱性。因为外来威胁只有利用了人群的脆弱性以及安全防范措施的脆弱性,危害才能成功。图 1 给出了突发公共卫生威胁与人群健康脆弱性二者之间的关系示意图。脆弱性受传染源(类型、变异能力、传播途径、中间宿主)、人群(密度、总人数、有效接触率)、环境(月平均气温)、安全防范措施(机构、人员、物资、制度)等各方面因素的综合影响。

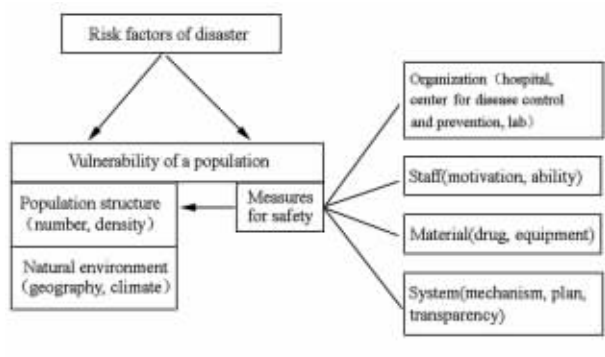


图 1 基于公共卫生威胁-人群健康的脆弱性原因示意图

Fig 1 Factors for vulnerability of population health based on public health threat and population health

1.3 脆弱性评价的重要意义 首先,脆弱性评价对于进一步完善灾害理论研究具有重要作用。突发公共卫生事件对我国人群健康已经构成了严重威胁,避免或减少突发公共卫生威胁已经成为当前区域研究、乃至全球研究的焦点。突发公共卫生事件的后果是由致灾因素(公共卫生突发威胁)的危险性和承灾体(人群结构、自然环境、安全防范措施)的脆弱性两个因素共同决定的,承灾体的脆弱性研究不仅对于灾害理论的进一步完善尤为重要,而且对于区域减灾政策的实施、对于减灾投资的合理性将会提供一个重要的依据。承灾体脆弱性研究是根据区域的经济、社会指标确定当自然灾害一旦发生区域可能造成的损失,因而建立合理的评价模型,对区域承灾体脆弱程度进行准确的综合评价则成为这一研究的关键。

其次,脆弱性评价在突发公共卫生事件预警及处理中具有十分重要的作用。脆弱性是由自然、社会、经济等多种因素决定的,是对人类健康作用的结果。定量评价基于突发威胁发生前的人群健康的脆弱性,应在此概念基础上设计评价项目,确定评价所用指标,人群健康的脆弱性是反映基于突发事件前的区域经济、社会对于一旦发生突发事件的敏感状况,是与区域的社会经济发展有关,也与灾害可能造成的后果有关。脆弱性评价对引起突发事件和防范力量进行深入分析和综合判断,为预警方案、处置对策、具体措施的提出提供建议,从而指导突发事件的应急处理起到重要作用,是一项重要的前期工作,也是各级政府和卫生行政主管部门进行科学决策的重要依据。

2 人群健康脆弱性评价实践

2.1 建立模糊评判区域承灾体脆弱性要素 人群健康的脆弱性是由多种要素决定的,评判要素的选择合适与否将对最终评判结果的确立起着关键的作用,本研究应用专家咨询法得到 12 项人群健康脆弱性要素,并定义人群健康脆弱性要素集为: $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, \dots, U_{12}\}$ 。

2.1.1 要素的内涵和特征 要素是反映总现象的特定概念和具体数值。任何要素都是从数量方面说明一定社会总现象某种属性或特征的,它的“语言”是数字。通过一个具体的统计要素,可以认识所研究现象的某一特征,说明一个简单的事实。如果把若干有联系的要素结合在一起,就可以从多方面认识和说明一个比较复杂事实的许多特征及其规律性^[4]。

2.1.2 评价要素集初选 基于公共卫生威胁-人群健康的评价要素主要包括以下几类。(1)致灾要素:病原体(致病性、变异能力、传播途径等);(2)人群脆弱性要素:人口密度、居住条件、卫生条件、交往频率、易感者的抵抗力、人群免疫力等;(3)环境脆弱性要素:气候因素、社会活动条件等;(4)安全措施脆弱性要素:①机构,如医院、防疫站、实验室(在该地区是否健全,满足应急处理的需要,配置是否合理,防治队伍建设)等;②人员,其知识水平(对某突发事件病原体致病原理的掌握,对防治知识的掌握)等;③物资储备,如药品、器材储备、生产能力储备、调拨能力储备等;④制度,危机预警方案、应急处理预案的完整性,是否具有可操作性、组织危机处理演习等。

2.2 建立综合评价集 为确定某一评价区域或评价点各因子指标的性状,需确定评价集合。将承灾体脆弱性程度分为五级,即评价指标集合为: $V =$

$\{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$ 。

2.3 确立专家咨询组成员 在专家的选择上,从本研究的具体情况出发,考虑到专家的基本条件(学历、职称、工作性质、专业等),主要聘请了流行病领域、卫生事业管理领域、卫生统计学领域的专家。他们专业知识丰富,思维和判断能力较强,并在该领域从事工作多年,通过不同的角度为本研究提供了较为全面的意见。在专家人数确定上,考虑到人数太多难以组织,咨询结果的处理也比较复杂,且人数接近 15 人时,再增加人数对咨询结果的精度提升作用不大,因而选择 12 名专家参加。

2.4 广泛征求意见,构建要素集框架 脆弱性评价

属于水平性评价,又兼有鉴定性评价的某些特征。根据评价的性质和目的,围绕构成人群健康各个方面,如致灾因素、人群脆弱性、安全措施脆弱性三个方面,结合我国人群健康的规律和特点,初步筛选出要素 12 个,构成基于公共卫生突发事件-人群健康脆弱性要素集基本框架。在要素的筛选过程中,我们在小范围内首先进行了一次预调查,然后在选择的 12 名专家中进行了三轮咨询,广泛听取和征询相关专家的意见和建议,根据专家意见以及在实际工作中存在的问题,对指标体系进行了筛选和修改完善,形成了基于公共卫生突发事件-人群健康脆弱性要素集框架(表 1)。

表 1 基于公共卫生突发事件-人群健康脆弱性要素集框架

Tab 1 Factors of vulnerability of population health during emergent public health event

Area	Index	Factors	Contents	Weight
Factor of disaster	U ₁	Pathogenicity	Morbidity, mortality	0.112 5
	U ₂	Mutation	Mutation speed of pathogen	0.044 7
	U ₃	Route of transmission	Respiratory tract, gastrointestinal tract, body fluid	0.099 2
	U ₄	Media of transmission	Host, the density of vectors, such as mosquito	0.049 3
Vulnerability of population	U ₅	Population density	Density of permanent residents	0.033 2
	U ₆	Residence environment	Type of house, ventilation, natural lighting, indoor hygiene	0.097 4
	U ₇	Population mobility	Population entering or leaving the area per event	0.032 7
	U ₈	Behaviour and habits	Unhealthy living habits, such as drinking, raising pet	0.045 2
	U ₉	Prevention awareness of population	Mastering of knowledge on preventing infectious diseases	0.148 6
Vulnerability of safety measures	U ₁₀	Organization	Reasonable distribution of health institutions, team of medical staff, center for disease control and prevention and labs	0.067 5
	U ₁₁	Material reserve	Reserve of drugs, equipment, ability of manufacturing and allocation	0.114 3
	U ₁₂	System construction	Plan of early warning for crisis and controlling approach, organization of manoeuvre, etc.	0.155 4

3 多指标危机预警可拓模型的构建

可拓方法是可拓学(extenics)的基本方法。可拓学创立于 1983 年,十几年来,已初步形成了自己独特的理论框架,并向应用领域发展^[5]。本研究主要运用可拓方法进行预警中的模型构建。

(1)确定每个指标的经典域和节域:设定被监控的事物为 N,被监控的 n 个指标为 $u_i (i=1, 2, \dots, n)$,被监视的危机为 Z,事物 N 相对于指标为 u_i 的值为 $v_i (i=1, 2, \dots, n)$,则可以用一个 n 维物元来表示 N、 u_i 、 v_i 之间的关系,即:

$$R = \begin{bmatrix} N, u_1, v_1 \\ u_2, v_2 \\ \dots, \dots \\ u_n, v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_n \end{bmatrix}$$

对每一个指标 u_i 的值 v_i ,其经典域 $X_{0i} = \langle a_i, b_i \rangle$,节域 $X_i = \langle m_i, n_i \rangle$,显然 $X_{0i} \subset X_i$ 。

(2)构造关联函数:构造每个指标 u_i 对应的关联函数 $y(u_i) = \pm K(R_i) = \pm k(v_i) = \pm \int [\rho(v_i, x_{0i}), D(v_i, x_{0i}, X_i)]$

其中,因变量 $y(u_i)$ 的取值范围为实数域,即 $y(u_i) \in (-\infty, +\infty)$ 。

(3)确定每个指标的权重系数:根据每个指标在预警危机方面的重要性程度的不同,为其指定相应的权重系数 a。

(4)构造多指标危机预警的可拓模型:

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i u_i$$

(5)设定被监视的危机的预警区间:设定区间 $\langle Y_1, Y_2 \rangle$ 表示系统的安全域;区间 $\langle Y_3, Y_1 \rangle \cup \langle Y_2, Y_4 \rangle$ 为被监视危机的预警区间,即危险域;区间

$(-\infty, Y_3) \cup (Y_4, +\infty)$ 为被监视危机的暴发区间, 即暴发域。

(6) 确定预警原则: 根据 $Y(t_0)$ 值的大小和已设定的预警区间, 就可以做出相应的判断。若 $Y(t_0) \in \langle Y_1, Y_2 \rangle$, 表示系统状态处于正常允许的范围之内; 若 $Y(t_0) \in \langle Y_3, Y_1 \rangle \cup \langle Y_2, Y_4 \rangle$, 表示系统状态处于异常变化状态, 危机预警; 若 $Y(t_0) \in \langle -\infty, Y_3 \rangle \cup \langle Y_4, +\infty \rangle$, 表示系统状态处于恶性变化状态, 危机暴发。

(7) 划分预警等级: 类似地, 可以根据关联函数值 $Y(t_0)$ 在区间 $\langle Y_3, Y_1 \rangle \cup \langle Y_2, Y_4 \rangle$ 内的不同数值, 将危机预警划分为若干等级。

以下所述的预警等级划分原则更适合于多指标危机预警模型的情况。

在多指标危机预警模型中, 各预警指标的重要性程度是不同的。基于此, 将预警指标划分为关键指标、主要指标和辅助指标三类。权重系数 $a_i > a$ 所对应的指标称为关键指标; 当 $b \leq a_i \leq a$ ($0 < b < a < 1$) 时, 其对应的指标即为主要指标; 当 $a_i < b$ 时, 其对应的指标即为辅助指标。本研究中, 我们确定 $a = 0.15, b = 0.1$ 。由此, 关键指标为 U_{12} ; 主要指标为 U_1, U_9, U_{11} ; 辅助指标为 $U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7, U_8, U_{10}$ 。

根据这三类指标的不同情况, 可以将预警等级划分为低度预警、中度预警、高度预警。每一种等级的预警原则可根据不同的情况加以详细规定。

(1) 低度预警对应的预警原则: ① 关键指标没有突破警戒线, 主要指标中有 1 项突破警戒线; ② 关键指标和主要指标均没有突破警戒线, 但辅助指标中有 3 个指标突破警戒线; ③ 主要指标均未突破警戒线, 但有 3~4 个指标接近警戒线。

(2) 中度预警对应的预警原则: ① 关键指标接近警戒线; ② 关键指标没有突破警戒线, 主要指标中有 2~3 个突破警戒线; ③ 主要指标接近警戒线; ④ 关键指标没有突破警戒线, 有 1 个主要指标和 3 个辅助指标同时突破警戒线。

(3) 高度预警对应的预警原则: ① 关键指标突破警戒线; ② 关键指标没有突破警戒线, 主要指标中有 4 个或更多突破警戒线; ③ 关键指标没有突破警戒线, 有 2 个以上主要指标和 4 个以上辅助指标同时突破警戒线。

4 实例应用与分析

危机的暴发往往是多种因素综合作用的结果, 我们通过挑选出的一组决定系统危机状况的最重要

的指标, 利用关联函数计算出每一个指标对某种被监视的危机的反映程度, 然后根据这些指标在预先显示或预测系统危机状况的能力大小给予不同的权重, 最后将这些加权数值进行汇总, 得到一个系统危机状况的综合测评值, 将其与临界值对比就可知道系统危机状况的危急程度, 从而对危机进行预警。因考虑到致灾因素中 (U_1, U_2, U_3 三个指标) 对危机爆发的影响程度及其本身的稳定性, 在计算综合测评值时, 用其发生的可能性作为系数 k ($0 \leq k \leq 1$)。为了对模型进行验证, 本文选取了某地区为样本, 对该地区的人口密度、居住条件、人口流动情况、人群行为习惯、公众预防意识、机构设置、物资储备、制度建设等情况进行了调查, 并请专家结合我们的调查结果, 运用模糊评价的方法, 对该地区某种流行病的脆弱性进行评价, 对每个指标评价打分。结果显示, 得到的综合测评值没有超过设定的预警警戒值。同时, 我们区分关键指标、主要指标和辅助指标这三个类别, 根据专家评价结果对该地区的人群脆弱性进行预警。该地区的各项指标未接近或达到警戒线, 没有达到轻度预警的程度。

通过调研, 我们认为该地区比较重视疫情的监控, 加强了医院、防疫站、实验室等机构的建设, 物资储备充足, 危机预警方案、应急处理预案等制度完备, 同时, 当地群众对传染病预防知识有较程度的认识。以上因素都与评价结果有密切的关系。事实证明, 将环境科学中的脆弱性概念引入人群健康评价领域, 通过建立人群健康脆弱性评估模型, 可对某地区的基于公共卫生威胁的人群健康情况进行评价。管理部门根据评价结果, 可为具体工作实践提供决策参考依据。

[参考文献]

- [1] 沈珍瑶, 杨志峰, 曹 瑜, 等. 环境脆弱性研究述评[J]. 地质科技情报, 2003, 22: 91-94.
- [2] AWWA Interim voluntary security guidance for water utilities [EB/OL]. [2004-12-09]. http://www.org/science/wise/report/AWWA_Securities/page2.htm
- [3] Ezell B C. Toward a systems-based vulnerability assessment methodology for water supply systems[J]. Risk-Based Decisionmaking, 2002: 91-103.
- [4] 樊运晓, 罗 云, 陈庆寿, 等. 区域承灾体脆弱性评价指标体系研究[J]. 现代地质, 2001, 15: 113-116.
- [5] 蔡 文, 杨春燕, 林伟初, 等. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 3.

[收稿日期] 2007-03-27

[修回日期] 2007-09-04

[本文编辑] 尹 茶