

山东省16地市医疗韧性评价

——基于TOPSIS-AISM模型

周景阳, 李昌奇

山东建筑大学管理工程学院, 山东 济南

收稿日期: 2023年8月16日; 录用日期: 2023年9月18日; 发布日期: 2023年9月26日

摘要

疾病贯穿于人类发展史中, 在面临人口不断增多, 自然、经济、医疗禀赋不同的新形势下, 该如何在“后疫情时代”吸取教训并防范重大公共卫生事件逐步成为学者们的研究热点。本文以山东省16地市作为实证分析的对象, 从鲁棒性、冗余度、效率度与适应度四方面作为切入点, 采用TOPSIS与AISM模型的结合方法, 构建了指标体系并探究了山东省16地市医疗韧性的强弱程度。相较于传统的解释结构模型, AISM模型有效保证了系统功能并得出最简化的层次化拓扑图, 将评价结果直观展示出来。研究发现, 从空间格局上看, 山东省医疗韧性整体呈现“东强西弱”的格局, 与各地市的经济水平大致相符, 而从指标体系构建中看, 鲁棒性与适应度对医疗韧性的强弱有较强影响。最后, 本文通过呈现直观的研究结果给出了相关的建议。

关键词

城市韧性, 应急管理, 山东省, TOPSIS-AISM模型

Evaluation of Medical Resilience in 16 Cities in Shandong Province

—Based on the TOPSIS-AISM Model

Jingyang Zhou, Changqi Li

School of Management and Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: Aug. 16th, 2023; accepted: Sep. 18th, 2023; published: Sep. 26th, 2023

Abstract

Diseases run through the history of human development. Under the new situation of increasing

文章引用: 周景阳, 李昌奇. 山东省16地市医疗韧性评价[J]. 理论数学, 2023, 13(9): 2704-2717.

DOI: 10.12677/pm.2023.139278

population and different natural, economic and medical endowments, how to learn lessons and prevent major public health events in the “post-epidemic era” has gradually become a research hotspot for scholars. Taking 16 municipalities in Shandong province as the object of empirical analysis, this paper has combined TOPSIS and AISM model to establish an indicator system and investigate the strength and weakness of healthcare resilience in 16 municipalities in Shandong Province from four aspects: robustness, redundancy, efficiency and fitness. Compared with traditional interpretation structure models, the AISM model effectively guarantees system functionality and produces the most simplified hierarchical topology diagram, displaying evaluation results. The study found that from the perspective of spatial pattern, the overall pattern of medical resilience in Shandong Province is “strong in the east and weak in the west”, which is roughly consistent with the economic level of various cities. From the perspective of the index system construction, robustness and fitness have a strong impact on the strength of medical resilience. Finally, this paper gives some suggestions by presenting the intuitive research results.

Keywords

Urban Resilience, Emergency Management, Shandong Province, TOPSIS-AISM Model

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国共产党的二十大报告创造性地提出建设具有“宜居、韧性、智慧”的城市，强调了提高城市规划、建设与治理水平的重要性与紧迫性。疾病与城市的战争贯穿于人类发展史，重大突发公共卫生事件对人民健康、人民安全和人民福祉有着巨大影响。因此，如何构筑城市医疗韧性评价体系并提高城市医疗韧性的治理能力已逐步成为学者的研究热点。山东省作为人口约为 1 亿人的大省，东西部自然资源、经济水平发展差距较大，各市医疗能力水平强弱不均。而城市医疗系统恰恰是重大公共卫生事件的“第一道防线”，也是阻断与控制其蔓延的决定性力量。在现有研究中，虽有前人对其他地区的城市医疗韧性有所研究，山东省的医疗韧性评价的研究还着墨不多。所以，对山东 16 地市的医疗韧性合理测度是山东省提高应急保障能力、构筑城市韧性安全网络的重要课题。本文构建了鲁棒性、冗余度、效率和适应度四个二级指标，选取每千人床位数、病床使用率等 20 个三级指标，通过 TOPSIS-AISM 模型对山东省 16 地市的医疗韧性进行了测度。研究发现，在空间格局中，整体呈现“东强西弱”的态势，而在指标体系中，高校数量、经济水平等对促进城市医疗韧性的提升影响较大。同时，本文提出了相应的治理政策，弥补了该区域的研究空白。

2. 韧性与医疗韧性

韧性(resilience)起源于拉丁语“resilio”，意为“回复到原始状态的能力”，这一概念最初用于工程领域，被认为是传统的静态线性平衡范式。1973 年，Holling [1]将其引入生态学领域，认为生态系统可以在经历外部扰动后，生态水平不仅可能会保持持平，还有可能会提升或退步，即为“多稳态的平衡范式”。随后，Gunderson 与 Holling [2]共同提出的“适应性循环理论”逐步引出“演进韧性”的概念，即风险是不可预知而非一成不变的，系统应具备调整与学习能力。“演进韧性”受到了大多数学者的认同，这一理念也逐步延伸经济学、地理学和灾害治理等领域。视角的不同决定了认识的不同，例如，Briguglio

[3]等从经济学的视角出发, 认为经济韧性是区域经济经历外部扰动后从一个低水平的平衡之后快速转换至一个“更好的平衡”的能力。Jha [4]等出于灾害治理的视角, 认为城市韧性分别由基础设施、制度、经济和社会 4 部分组成, 其中基础设施韧性是最重要的一环。洛克菲勒基金会(Rockefeller Foundation) [5]将城市韧性定义为“在慢性压力和急性冲击下, 个人、社区、机构、企业和系统存续、适应与发展的能力”。因此, 韧性的概念大致经历了“工程韧性”到“生态韧性”再到“社会-生态韧性”的演变。

过去 30 年, 全球重大传染病呈多发态势, 其不确定性与高传染性是引发重大公共卫生事件的导火索[6]。对于医疗韧性的研究, 学者们目前虽着墨不多, 但已逐步成为研究热点。张文忠[7]从宜居城市的系统性出发, 呼吁要加强城市的专项规划编制。仇保兴[8]基于复杂适应系统 CAS 理论, 认为一座韧性城市应具备主体性、多样性、自治性、适当的冗余性、慢变量管理和标识等六大要素。李国平[9]从宏观的角度提出了建立沟通顺畅、部门协调的政府治理体系的必要性, 同时强调了分级防控的有效性与针对性。立足于抗震防灾方面, 孟俊林[10]构建了城市医疗系统抗震韧性指标体系并给予对策。在实证研究方面, 张朝玉[11]通过 TOPSIS-AHP 方法对河北省各地市的医疗韧性进行了测度, 开创了先河。随后, 刘子艺[12]等以 ARCGIS 平台数据库为基础, 从城市区域层面出发, 将关注点投入至空间应急救援分析中, 得出了模拟分析结果。与此同时, 还有学者[13]从城市农村二元视角出发, 提出医疗卫生服务体系的韧性水平的关键在于提高配置分配的刚性, 强化农村基层的服务水平。

本文认为, 灾害不可避免, 如果不能将韧性思想纳入城市建设与治理的规划中, 必然会在经历外部扰动时, 引发城市秩序的混乱。城市韧性源于实现社会整体效益最优的统筹智慧, 故将城市医疗韧性定义为城市医疗系统在遭受外部扰动时, 能够在保持原有功能性不变的基础上, 能最大限度维持医疗系统稳定性的能力。

3. 指标选取与研究方法

3.1. 指标选取与数据处理

3.1.1. 指标选取

考虑到现有城市韧性研究指标体系的科学性, 并考虑到山东省 16 地市实际, 将从鲁棒性(robustness)、冗余度(redundancy)、效率性(efficiency)与适应度(fitness)四方面构建医疗韧性评价指标体系, 四类二级指标的属性如表 1 所示, 城市应急医疗韧性的指标体系如表 2 所示。

其中, 鲁棒性指城市医疗系统的既有资源对灾害的抵抗能力, 是一种表现韧性。研究选取了每千人床位数、卫生技术人员数、卫生机构数等 6 项指标。充足的医疗卫生基础服务设施与经济水平对城市医疗韧性有着稳定作用, 这六项指标不仅能反映当地的人均医疗卫生条件基础是否扎实, 同时还反映了群众的生活水平。而冗余度则指城市医疗系统的替代解决方案和储备资源是否充足, 为准备韧性。在步入老龄化与群众健康意识不断提高的背景下, 失业保险与医疗保险为群众保障了其基本生活与医疗功能,

Table 1. The meaning and attributes of robustness, redundancy, efficiency, and fitness

表 1. 鲁棒性、冗余度、效率度与适应度的含义与属性

指标名称	指标含义	指标属性
鲁棒性(robustness)	城市现有的医疗服务资源应对外部扰动的能力	表现韧性
冗余度(redundancy)	城市医疗系统的应急方案与储备资源的多寡	准备韧性
效率性(efficiency)	在遭受外部扰动后, 回复至原有韧性水平的能力	内在韧性
适应度(fitness)	适应、学习并提高的能力	内在韧性

Table 2. Construction of urban emergency medical resilience index
表 2. 城市应急医疗韧性指标构建

目标层	决策层	评价指标	正负向
城市医疗韧性	鲁棒性	每千人床位数	+
		每千人卫生技术人员数	+
		每千人卫生机构数	+
		地区生产总值(亿元)	+
		第三产业占比(%)	+
		人均生产总值(元)	+
	冗余度	年末参加失业保险人数占比(%)	+
		医药工业市场份额(%)	+
		居民参加医疗保险比率(%)	+
	效率度	每千人疾病预防控制机构数	+
		病床使用率(%)	+
		平均住院日(日)	-
		高铁交通通达度(方向数)	+
		急救出车时间(秒)	-
		高等学校数量(所)	+
居民恩格尔系数(%)		-	
适应度		人均可支配收入(元)	+
		城镇人口比重(%)	+
	永久性方舱新增床位数量(万张)	+	
	城市数字指数	+	

医疗工业市场份额则成为了医疗行业稳步增长的重要指标。同时,疾病预防控制机构可以有效将应急管理的关口前移,缓解“轻预防而重治疗”的现象。效率度是指医疗系统在经历外部扰动后,恢复到原有韧性水平的能力,决定了系统恢复到正常水平的时间与效果。高铁交通与急救出车时间分别体现了城市与外界的互联程度与本区域内急救效率。病床使用率与平均住院日则为评价医疗系统效率的硬性指标,以 85%~93%最为适宜[14]。最后,适应度指的是适应能力,即将外部扰动转化为经验,并学习与提高。适应度作为一种内在韧性,可有效衡量在城市遭受外部扰动时城市系统能否适应的水平。居民恩格尔系数、人均可支配收入比重等指标反映了以个人或家庭为单位时,对于灾害的适应力。而高等学校数量、城市数字指数则为城市智慧化的重要体现。值得一提的是,山东省各地市建设了永久性的方舱,这些储备床位可在发生大规模医疗事件时发挥应急与储备作用。这无疑增加了山东省在面临重大公共卫生事件甚至是其他应急管理事件时的适应力。

3.1.2. 数据来源

本研究中选取的 20 个指标中,每千人床位数、每千人卫生技术人员数、每千人卫生机构数、地区生产总值(亿元)、第三产业占比(%)、人均生产总值(元)、年末参加失业保险人数占比(%)、医药工业市场份额(%)、居民参加医疗保险比率(%)、每千人疾病预防控制机构数、高等学校数量(所)、居民恩格尔系数(%)、人均可支配收入(元)均采集于《山东省 2022 年统计年鉴》;病床使用率(10%)、平均住院日与急救出车时间取自于山东省各市《卫生健康事业发展统计公报》;永久性方舱新增床位数量(万张)取自于 2022 年第

16 至 21 期的山东省政府专项债券报告；城市数字指数取自于腾讯数字中国指数报告。

3.2. 研究方法

3.2.1. TOPSIS 法

逼近理想解排序法(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, 简称为 TOPSIS 法)由 C. L. Hwang 和 K. YOON 提出, 是一种综合评价方法。TOPSIS 法对于各个评价对象进行赋权, 根据各个属性值距各评价方案的最好与最坏情况分为了正负理想解, 以精确地评判出各评价方案的差距。同时, TOPSIS 法结合欧氏距离法, 将各指标与最佳解和最劣解进行距离排序。若该欧式距离满足距最优解最近且离最劣解最远, 则为最优, 其评估指标最高; 反之, 则为最差。

3.2.2. AISM 对抗解释结构模型

对抗解释结构模型(Adversarial Interpretive Structure Modeling Method, 简称为 AISM 模型)衍生于解释结构模型(ISM), 其对抗的思想有利于分析系统中各因素的内在关系。不同于传统的 ISM 解释结构模型的结果优先(帕累托由优至劣)的层级抽取规则, AISM 模型根据关系矩阵获得的可达矩阵, 采用对立层级抽取原则, 建立了与之不同的层次化拓扑图(帕累托由劣至优), 建立对抗关系。

AISM 更加关注处于不同层级的要素, 因此, 通过建立两组有向拓扑图, 对山东省 16 地市的医疗韧性进行综合比较, 能更加有效地探索其内在联系与排序情况。其计算过程如下:

$$A \xrightarrow{A+I} B \xrightarrow{\text{可达矩阵}} R \xrightarrow{\text{对立层级抽取}} \{\text{UP} | \text{DOWN}\} \xrightarrow{\text{带入}S} \text{对立的层级有向拓扑图}$$

其中: A 为原始布尔关系矩阵; B 为加入单位矩阵后($B = A + I$)相乘矩阵; R 为可达矩阵; S 为一般性骨架矩阵; $\{\text{UP}/\text{DOWN}\}$ 为一组对抗型拓扑有向图。简而言之, UP 型层级拓扑图, 从帕累托最优的角度出发, 抽取规则为 $R_{(e_i)} = T_{(e_i)}$, 当可达集合与共同集合相一致时, 由上至下地放置抽取的元素, 直接提取系统中最终结果的元素。是一种结果优先的抽取方法。而 DOWN 型拓扑图则以原因优先, 从帕累托最劣出发, 抽取规则为 $Q_{(e_i)} = T_{(e_i)}$, 即为先行集合与共同集合相一致时, 由下至上放置抽取的元素, 提取系统中最终原因的元素。这两种互为对立关系的抽取方法建立了一对对抗的层级拓扑图, 通过综合比较山东省 16 地市的医疗韧性程度, 探究其相关性与互相影响的程度。

AISM 模型有效充实了 TOPSIS 法的研究内涵, 将其直链形式的排序结果动态化, 变化为具有跳跃性质的排序结果。TOPSIS 法与 AISM 模型的结合, 先将山东省 16 地市的韧性水平进行测度, 再分层抽取, 把静态的模型动态化, 立体展示其分析整体夹逼的过程, 将各市的医疗韧性水平划分得更加清晰。通过给出 UP 型与 DOWN 型有向层级拓扑图综合比较, 增加了结果的可信度。

4. 模型建立

4.1. TOPSIS 模型

4.1.1. 建立矩阵(A_k)

$$A_k = (a_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

4.1.2. 建立标准化决策矩阵(B_k)

对 A_k 进行无量纲化处理。 B_k 为 a_{ij} 的无量纲形式。

$$B_{ij} = \frac{a_{ij} - \min(a_i)}{\max(a_i) - \min(a_i)} \quad (2)$$

4.1.3. 熵权法确定客观权重

根据信息论中信息熵的定义, 通过下列两式可以计算指标信息熵(E_j)与信息能效值(P_{ij})。

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (3)$$

$$P_{ij} = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n B_{ij}} \quad (4)$$

通过信息熵计算各指标的权重 W_j 为

$$W_j = \frac{1 - E_j}{k - \sum_{j=1}^n E_j} \quad (5)$$

4.1.4. 构建矩阵 A_k 的加权标准化决策矩阵(C_k)

$$C_k = (c_{ij}) = B_k W_j \quad (6)$$

4.1.5. 计算正、负理想解(d^+ 、 d^-)

到正向理想解的距离:

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (c_j^+ - c_{ij})^2} \quad (7)$$

到负向理想解的距离:

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (c_{ij} - c_j^+)^2} \quad (8)$$

4.1.6. 计算相对贴近度

$$C = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (9)$$

4.2. AISM 模型

4.2.1. 依据偏序规则得出关系矩阵

在决策矩阵 D 中, 若有 n 列, 则有 n 个不同指标维度。其中, 将正向指标记为 $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$, 将负向指标记为 $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ 。对于矩阵 D 中的任意两行 x 与 y , 应满足:

负向指标: $d_{(x,u_1)} \geq d_{(y,u_1)}$ 且 $d_{(x,u_2)} \geq d_{(y,u_2)}$ 且 \dots 且 $d_{(x,u_n)} \geq d_{(y,u_n)}$;

正向指标: $d_{(x,v_1)} \leq d_{(y,v_1)}$ 且 $d_{(x,v_2)} \leq d_{(y,v_2)}$ 且 \dots 且 $d_{(x,v_n)} \leq d_{(y,v_n)}$ 。

要素 x 与 y 的偏序关系记为 $x < y$, 意为 y 要素优于 x 要素。决策矩阵 D 通过偏序关系可得到关系矩阵 A 。其中, 若 $x < y$, 记为 0; 若 x 与 y 无完全优劣关系或 $x > y$, 则记为 1。

$$a_{xy} = \begin{cases} 0, & x < y \\ 1, & x \text{ 与 } y \text{ 无完全优劣关系或 } x > y \end{cases} \quad (10)$$

4.2.2. 建立可达矩阵

可达矩阵指的是用矩阵形式来描述图的各节点之间经过一定长度的通路后可达到的程度。山东省 16

地市医疗韧性的可达矩阵是在关系矩阵 A 的基础上加单位矩阵 I , 可达矩阵 R 的计算方法如式(11)与式(12)所示:

$$B = A + I \quad (11)$$

$$B^k = B^{k+1} = R \quad (12)$$

其中, B 为相乘矩阵, 即对角线上的元素都加 1; I 为 0-1 矩阵; R 为可达矩阵, 不难得出 $R = A$ 。

4.2.3. 运算骨架矩阵

由可达矩阵进行缩点即把可达矩阵中的回路当成一个点, 称之为缩点。缩点后进行缩边运算, 即为其删除重复的路径:

$$S = HS = R - (R - I)^2 - I \quad (13)$$

其中, S 为骨架矩阵, HS 为哈斯矩阵。

4.2.4. 层级抽取

对于可达矩阵, 有先行集合 Q 、可达集合 R 、共同集合 T , 其中 T 为 R 与 Q 的交集, 即为 $T = R \cap Q$ 。例如, $Q_{(e_i)}$ 为元素 e_i 的先行集合, $R_{(e_i)}$ 为元素 e_i 的先行集合。二者分别对应列上与行上所对应的所有要素。故 $T_{(e_i)}$ 为元素 e_i 的共同集合。其中:

1) UP 型层级图(由果索因)为以结果优先的层级抽取, 规则为 $R_{(e_i)} = T_{(e_i)}$, 由上至下地排布山东省 16 地市的样本, 以此类推。2) DOWN 型层级图(由因索果)为以原因优先的层级抽取, 规则为 $Q_{(e_i)} = T_{(e_i)}$, 由下至上地放置样本。UP 型层级图与 DOWN 型层级图互为对立关系, 帕累托最优的样本置于最上级, 反之帕累托最劣的样本则处于最下级。

5. 实证分析

5.1. TOPSIS 求解

在构建决策矩阵后, 通过 TOPSIS 模型计算得出各项三级指标的权重, 如表 3 所示。

Table 3. The weights of various urban emergency medical resilience indicators
表 3. 各项城市应急医疗韧性指标的权重

评价指标	权重(%)
每千人床位数	2.11%
每千人卫生技术人员数	0.18%
每千人卫生机构数	5.35%
地区生产总值(亿元)	8.64%
第三产业占比(%)	1.96%
人均生产总值(元)	7.79%
年末参加失业保险人数占比(%)	4.56%
医药工业市场份额(%)	3.93%
居民参加医疗保险比率(%)	8.74%
每千人疾病预防控制机构数	2.25%
病床使用率(%)	6.33%

Continued

平均住院日(日)	4.13%
高铁交通通达度(方向数)	5.64%
急救出车时间(秒)	4.05%
高等学校数量(所)	14.81%
居民恩格尔系数(%)	3.24%
人均可支配收入(元)	6.13%
城镇人口比重(%)	3.60%
永久性方舱新增床位数量(万张)	3.47%
城市数字指数	3.07%

随后, 可计算出各个城市的正负理想解 d^+ 、 d^- 与贴近度 C_i , 如表 4 所示。

Table 4. Positive and negative ideal solutions and closeness

表 4. 正负理想解与贴近度

地区	d^+	d^-	C_i
济南	0.1164	0.1876	0.6171
青岛	0.1322	0.1629	0.5521
淄博	0.1842	0.0915	0.332
枣庄	0.2152	0.0676	0.2391
东营	0.2035	0.0980	0.3251
烟台	0.1635	0.1086	0.3993
潍坊	0.1652	0.1020	0.3816
济宁	0.1866	0.0861	0.3157
泰安	0.1914	0.0939	0.3291
威海	0.1962	0.0846	0.3013
日照	0.1946	0.1109	0.3629
滨州	0.1861	0.1181	0.3882
德州	0.1981	0.0797	0.2868
聊城	0.2048	0.0893	0.3036
临沂	0.2057	0.0797	0.2792
菏泽	0.1972	0.1107	0.3596

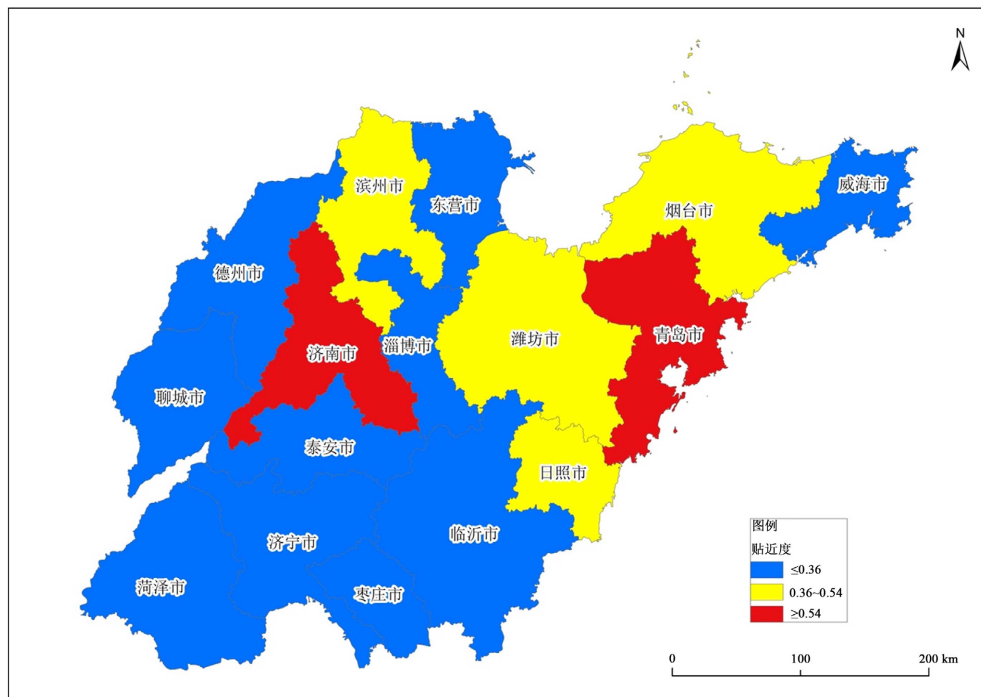
借鉴王鸣涛的研究[15], 取 16 地市的贴近度的平均值 0.36 为基准, 将平均值乘以 1.5 以上的城市为“强”等级(0.54), 其值以下的为“弱”等级, C_i 介于 0.36 与 0.54 的为“中等”。结果见表 5。

结合熵权法, 可清晰看出影响城市医疗韧性的指标权重。从结果来看, 高等学校数量、地区生产总值、居民参加医疗保险比率在权重中占有较大比率, 分别为 14.81%, 8.74%, 8.64%。首先, 济南市共有高等学校 43 所, 青岛为 20 所, 潍坊与烟台各有 16 所和 15 所, 其余城市高校数量均在 10 所以下。高校

Table 5. Classification of medical toughness in 16 cities in Shandong Province
表 5. 山东省 16 地市医疗韧性等级划分

贴适度 C_i	城市	等级
≥ 0.54	济南、青岛	强
0.36~0.54	烟台、潍坊、日照、滨州	中等
≤ 0.36	淄博、枣庄、东营、济宁、泰安、威海、德州、临沂、聊城、菏泽	弱

的发展与城市的兴旺密不可分，高校数量不仅能反映了一个地区的科技转换能力与人才储备能力，还可在城市经历重大公共卫生事件时，将宿舍楼、体育馆和其他内部建筑物或楼宇作为储备应急救灾场馆。此外，山东省在 2022 年发行 150 亿元专项债券用于永久性方舱和隔离点建设，进一步增大了城市医疗韧性的冗余度，利于常态救灾与非常态救灾的统一，加快了“平时”和“战时”的转化效率。其次，地区生产总值与人均生产总值反映了地区的经济发展水平，高水平的经济水平有利于医疗资源的投入，也是城市和居民在灾后积极自救与恢复生产生活的重要保证。再次，居民参加医疗保险比率的提高可有效缓解居民看病难的问题，对病人采取经济上的补助，充分调节收入差别，调整社会关系。参保比率的高低直接影响了城市的医疗韧性水平。最后，灾害具有紧迫性。在城市医疗韧性指标中，交通系统是否便利至关重要，高铁通达度关系到城市内部与外部的救灾物资运输是否通畅，病人转运能否便捷。济南市位于山东省的核心地区，位于京沪高铁的中心，便捷的高铁线路可以使其到达 19 个省会城市，这一指标国内领先。而青岛市的交通优势在于海陆空全覆盖，拥有我国重要的对外贸易港口，有着海上交通的先天优势。



注：该图给予自然资源部标准底图服务网下载的审图号为 GS(2019)1882 号，底图无修改。

Figure 1. Proximity heat maps of 16 cities in Shandong Province
图 1. 山东省 16 地市贴适度热力图

通过 ARCGIS 软件将山东省 16 地市的贴近度可视化展现综合来看(如图 1 所示), 城市医疗韧性水平较强的有济南与青岛市, 作为山东省唯二的副省级城市, 济南市作为省会, 三甲医院、高校数量为全省最多, 同时, 济南位于米字枢纽的核心位置, 有 9 条高铁通达方向, 对外交通便利。除此之外, 济南市扩张了 1.54 万张临时应急床位, 为山东省第二多的城市。相较于其人口规模, 这种扩张比例无疑是大大领先于其他城市。而青岛处于沿海地区, 是中国重要的沿海城市。优越的地理位置与改革开放的各项政策为其经济水平打下了基础, 青岛市不仅在地区生产总值指标中位列全省第一, 还在人均 GDP 等指标中位列全省第二, 城市基础设施完备且对外开放程度高。二者在经济结构与城市建设水平均为省内领先, 故医疗韧性最高。

城市医疗韧性水平中等的城市为烟台、潍坊、日照、滨州。其中, 烟台、潍坊、日照同属经济水平较高的胶东经济圈。烟台市与潍坊市在山东省经济水平分列第三名第四名, 强劲的经济发展为医疗资源投入、医药市场和高校级医院数量打下了基础。日照市经济水平虽不高, 但不足 300 万的人口也使其在每千人床位数、每千人医疗机构数等指标中位列全省中游。而滨州市虽位于省会都市圈, 但其无论在参加医疗保险比率与参加失业保险比率中位居全省前列, 除此之外, 发达的医疗工业也使其在各个指标处于全省平均水平。

城市医疗韧性水平较弱的城市为淄博、枣庄、东营、济宁、泰安、威海、德州、临沂、聊城和菏泽市。这些城市多为全省经济稍差的地区, 这些城市的第三产业占比均在 50% 上下, 在人均可支配收入等各项经济类指标难以占优。其中, 临沂市虽位列全省经济水平前五, 但人口数已达千使其平均下来各项指标并不突出。而淄博市与枣庄市的短板因素在于经济水平, 传统的工业无法满足新旧动能转换的要求, 短时间内难以完成经济转型。故这些城市的医疗韧性在省内较弱。

5.2. AISM 求解

5.2.1. 计算关系矩阵 A 与建立可达矩阵 R

由表 4 中计算出的正负理想解 d^+ 、 d^- 组成的决策矩阵, 可以进一步算出关系矩阵 $A = (a)_{16 \times 16}$ 。随后, 再结合公式(11)与(12)经布尔运算后, 可计算出可达矩阵 R , 此时可达矩阵 R 与关系矩阵 A 相等。如表 6 所示。

Table 6. Relation matrix A

表 6. 关系矩阵 A

	济南	青岛	淄博	枣庄	东营	烟台	潍坊	济宁	泰安	威海	日照	滨州	德州	聊城	临沂	菏泽
济南	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
青岛	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
淄博	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
枣庄	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
东营	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
烟台	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
潍坊	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
济宁	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
泰安	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
威海	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
日照	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
滨州	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Continued

德州	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
聊城	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1
临沂	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
菏泽	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1

5.2.2. 求得一般性骨架矩阵 S

求得关系矩阵 A (可达矩阵 $R = A$)后, 可由公式(13)进行缩边运算, 可求得一般性骨架矩阵 S , 由表 7 所示。

Table 7. General skeleton matrix

表 7. 一般性骨架矩阵 S

	济南	青岛	淄博	枣庄	东营	烟台	潍坊	济宁	泰安	威海	日照	滨州	德州	聊城	临沂	菏泽
济南	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
青岛	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
淄博	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
枣庄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
东营	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
烟台	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
潍坊	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
济宁	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
泰安	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
威海	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
日照	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
滨州	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
德州	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
聊城	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
临沂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
菏泽	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

5.2.3. 计算并绘制 UP 型有向拓扑图与 DOWN 型有向拓扑图

通过计算出山东省 16 地市的可达集合 R 与先行集合 Q , 取 T 为二者的交集。随后, 可根据抽取规则, 分别逐级抽取 UP 型和 DOWN 型拓扑层级后, 可得出对抗层级抽取结果, 要素分层如表 8 所示。

Table 8. Element stratification

表 8. 要素分层

层级	结果优先: UP 型	原因优先: DOWN 型
第 1 层	济南	济南
第 2 层	青岛	青岛

Continued

第 3 层	烟台, 滨州	烟台, 滨州
第 4 层	潍坊, 日照	潍坊, 日照
第 5 层	淄博, 泰安, 菏泽	淄博, 菏泽
第 6 层	东营, 济宁	东营, 济宁, 泰安
第 7 层	威海, 聊城	威海, 聊城
第 8 层	德州, 临沂	德州, 临沂
第 9 层	枣庄	枣庄

5.2.4. AISM 模型的评价结果

通过 AISM 模型的降维结果来看, 山东省 16 地市的样本优劣清晰可见。经图 2 的 UP 型与 DOWN 型对抗层级拓扑图可视化比较, 二者的划分层级基本一致。依据上层表现更优, 下层表现更差的原则, 山东省 16 地市医疗韧性共分为 9 个层级, 医疗韧性水平依次递减。即济南市是医疗韧性最强的城市而枣庄市为医疗韧性程度最薄弱的城市。其中, 泰安市横跨一个层级, 属于活动要素。

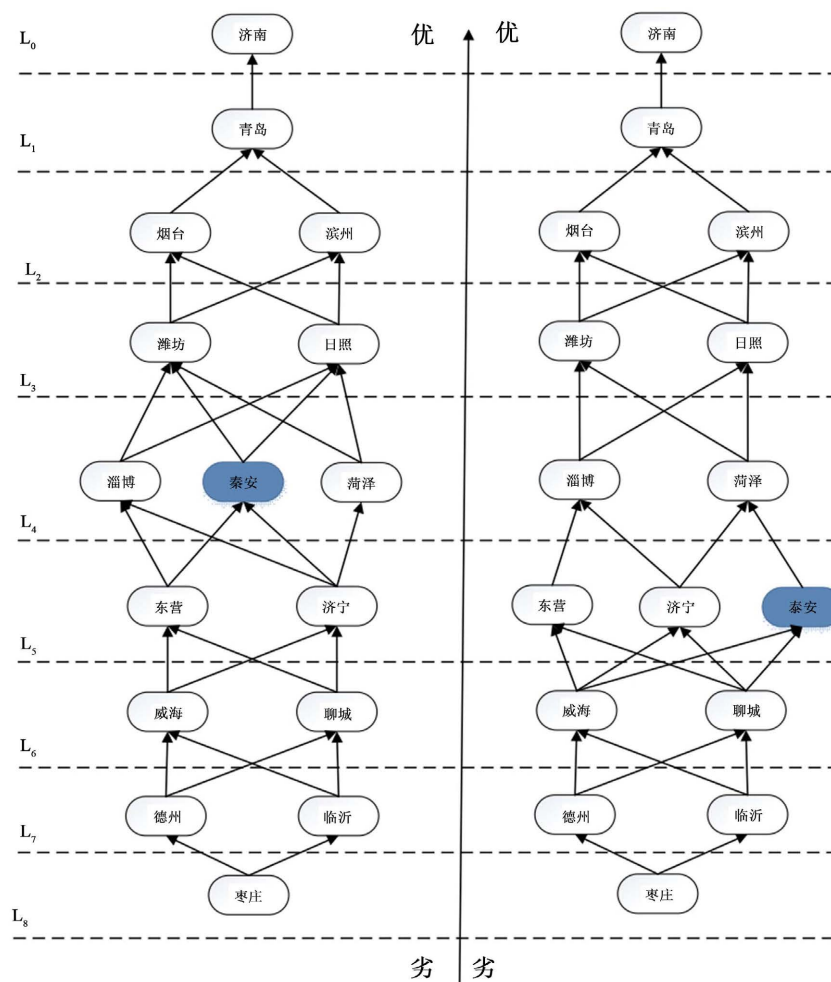


Figure 2. The UP and DOWN adversarial hierarchy topology
 图 2. UP 型对抗层级拓扑图与 DOWN 型对抗层级拓扑图

综合来看,城市的适应度与鲁棒性对城市医疗韧性的强弱有较强的支撑作用。从UP型与DOWN型对抗层级拓扑图来看,济南、青岛、烟台和潍坊市属于医疗韧性较强的城市,这些城市多位于山东省内的核心区域,经济实力较强,产业结构合理,人才储备多,在医药医学方面体现良好态势。德州、临沂与枣庄市医疗韧性薄弱,这些城市在高权重的指标中表现不佳,卫生医疗机构与卫生技术人员数量少,由于经济发展水平同比其他城市稍差,城镇化水平略低,也间接导致了高校数量少、居民参保率低等问题。说明政府更应重视城镇化水平的提升,提高居民参保率和重视医疗、交通等方面的基础建设。泰安市的层级跃迁主要体现在基层民生保障能力的增强上。泰安市推行“健康泰安”政策,2020年底县域就诊率达到90%以上,在全省率先实现国家卫生城市(县城)全覆盖。医疗服务体系已初步与社会经济水平相匹配。但泰安市的经济总量、物流竞争力和城市智慧化仍然掣肘着城市医疗韧性的发展,需要进一步转型加强。

6. 结语

为了测评城市医疗韧性应急管理中的重要前置关口,本文从鲁棒性、冗余度、效率度和适应度四个方面构建了20个指标综合测评了山东省16地市的城市医疗韧性。通过TOPSIS-AISM模型立体展示了优劣排名。主要结论如下:

从空间格局上看,山东省整体呈现“东强西弱”的格局。胶东经济圈整体韧性较强;省会经济圈中的济南、滨州韧性稍强,其余较弱;鲁南经济圈整体医疗韧性偏弱。从指标体系来看,适应度与鲁棒性的强弱对医疗韧性强弱有较强影响。如高校数量、经济水平等对促进城市医疗韧性的提升影响较大。

建国以来,我国的应急管理原则已将从“保护公共财产”转化为“人民至上、生命至上”。突发公共卫生事件具有不确定性、紧迫性、隐匿性等特点,防灾的重点也应将风险防范的关口进行前移,从救灾转化为防灾。目前,我国应急管理体系与预警监控体系衔接度不够,双方的减缓机制尚未能有效整合。所以,顶层设计需要将监测预测、应急响应、协调联动与灾后保障当作系统工程来看待。将传统的“静态治理”转变为“主动治理、动态治理、系统治理”三位一体的应急管理治理模式。

一方面,刚性是城市医疗韧性的安全底线。山东省应更加注重基层人才培养力度,建立复合型的基层门诊,缓解三甲医院的接诊压力。同时,工业化与城镇化的叠加带来了风险。有的地区仅仅是实现了“县市”的城镇化,但农村居民仍未享受到与传统市区居民同样的医疗条件与服务。所以,刚性至关重要,城市韧性讨论的绝非只是市域范围内的概念,而是应该包括了农村地区的“大城市”概念。另一方面,韧性是可持续发展的关键。政府应进一步提高居民的医疗保险参保率,主动优化医疗服务系统,推进医疗公平。除了降低急救出车时间、增加医疗机构、人员和床位数量等医疗系统内部应尽之责外,各级政府也应做好区域间的协调设计,完善健全的风险预警与防灾策略,以适应不同情境的外部扰动,发挥非政府组织的作用,以做到“平时”与“战时”的快速转换。

参考文献

- [1] Holling, C.S. (1973) Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **4**, 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- [2] Gunderson, L.H. (2000) Ecological Resilience—In Theory and Application. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **31**, 425-439. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.425>
- [3] Briguglio, L., Cordina, G., Farrugia, N. and Vella, S. (2009) Economic Vulnerability and Resilience: Concepts and Measurements. *Oxford Development Studies*, **37**, 229-247. <https://doi.org/10.1080/13600810903089893>
- [4] World Bank (2013) Building Urban Resilience: Principles, Tools, and Practice. World Bank Publications, Washington DC.
- [5] The Rockefeller Foundation and ARUP (2014) City Resilience Framework. The Rockefeller Foundation and ARUP,

New York.

- [6] 容志. 构建卫生安全韧性: 应对重大突发公共卫生事件的城市治理创新[J]. 理论与改革, 2021(6): 51-65+152.
- [7] 张文忠. 中国宜居城市建设的理论研究及实践思考[J]. 国际城市规划, 2016, 31(5): 1-6.
- [8] 仇保兴. 基于复杂适应系统理论的韧性城市设计方法及原则[J]. 城市发展研究, 2018, 25(10): 1-3.
- [9] 李国平. 超大城市疫情防控的实践经验——建立更加高效的突发公共卫生事件应急管理体系[J]. 人民论坛, 2020(23): 18-21.
- [10] 孟俊林. 城市医疗系统抗震韧性评估与规划对策研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2020.
- [11] 张朝玉, 赵新宇. 河北省城市应急医疗资源保障韧性评价与提升路径[J]. 河北科技大学学报(社会科学版), 2021, 21(1): 80-89.
- [12] 刘子艺, 郭小东, 王志涛, 刘朝峰. 空间尺度下城市医疗系统震后应急救援能力评估与韧性提升策略[J]. 地震工程与工程振动, 2021, 41(5): 196-205.
- [13] 《中国农村卫生事业管理》编辑部. 努力建设富有韧性的医疗卫生服务体系[J]. 中国农村卫生事业管理, 2023, 43(5): 305.
- [14] 杨雷, 王军爽. 基于 DEA 模型的综合医院病床利用效率评价[J]. 中国卫生统计, 2015, 32(5): 813-814+817.
- [15] 王鸣涛, 叶春明, 赵灵玮. 基于 CRITIC 和 TOPSIS 的区域工业科技创新能力评价研究[J]. 上海理工大学学报, 2020, 42(3): 258-268.