

基于GM(1,1)模型对湖北省公共卫生体系队伍建设情况的预测研究

黄永梁

上海工程技术大学, 上海

收稿日期: 2022年5月21日; 录用日期: 2022年6月11日; 发布日期: 2022年6月21日

摘要

自2020年以来,我国先后经历了多轮新冠肺炎疫情的本土大暴发,对我国的公共卫生体系及其应急管理能力构成了一次又一次的挑战。因此,了解一个地方的公共卫生体系的建设水平并预测未来的发展势头对于当前构建疫情常态化防控体系至关重要。本文选取了我国打响新冠肺炎疫情防控第一战的湖北省作为研究对象,基于湖北省统计局公布的2011~2020统计年鉴,对湖北省卫生工作人员数量进行统计,并利用(GM(1,1))灰色预测模型的三种方式对未来5年数据进行预测,来得出未来几年湖北省卫生人员队伍建设趋势。根据预测结果显示,在未来的5年内,湖北省的卫生工作人员队伍将继续不断壮大且执业医师在其中的占比将越来越高。本文基于这些结果,提出了完善公共卫生人员的保障机制,加大公共卫生人才培养力度等五个建议。

关键词

灰色预测, 公共卫生, 队伍建设

Research on the Prediction of Team Construction of Public Health System in Hubei Province Based on GM(1,1) Model

Yongliang Huang

Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: May 21st, 2022; accepted: Jun. 11th, 2022; published: Jun. 21st, 2022

Abstract

Since 2020, China has experienced multiple domestic outbreaks of COVID-19, which have posed repeated challenges to the country's public health system and its emergency management capacity. Therefore, it is crucial to understand the construction level of a local public health system and predict its future development momentum for the current construction of a regular epidemic prevention and control system. In this paper, Hubei Province, which started the first battle for the prevention and control of COVID-19 in China, was selected as the research object. Based on the statistical yearbook from 2011 to 2020 released by Hubei Provincial Bureau of Statistics, the number of health workers in Hubei Province was counted, and the data for the next five years were predicted by using three methods of (GM(1,1)) grey prediction model. To get the next few years of Hubei Province health personnel team construction trend. According to the forecast results, in the next five years, the health workforce in Hubei Province will continue to grow and the proportion of licensed physicians will be higher and higher. Based on these results, five suggestions are put forward, such as improving the security mechanism of public health personnel and strengthening the training of public health personnel.

Keywords

Grey Prediction, Public Health, Team Construction

Copyright © 2022 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

从对最近两年我国的疫情防控实践经历来看,我国公共卫生队伍建设面临公共卫生高层次人才缺失、基层公共卫生人员短缺、公共卫生人员配置明显滞后于人口城市化和流动人口发展水平、实际防控能力和应急能力不足等挑战[1]。习近平总书记在中央全面深化改革委员会第十二次会议上强调,要将加强公共卫生队伍建设作为完善重大疫情防控体制机制,健全国家公共卫生应急管理体系的重要内容[2]。卫生人员队伍建设是衡量一个地方卫生服务水平高低的标准之一,其衡量的数值标准主要通过卫生机构人员数的多少来进行判断。在当前疫情大流行的背景下,一个地方拥有足够的卫生人员数量既可以在平日里满足人民群众的正常就医需求,同时也可以在城市面临突发公共卫生事件时起到一定的作用,提高当地的防疫效率。

2. 湖北省卫生人员队伍建设现状分析

一个地方的公共卫生人员结构主要由卫生技术人员,执业(助理)医师,执业医师,注册护士,药师以及乡村医生和卫生员构成,不同的名称分别对应不同级别以及不同专业水平的从医人员。根据湖北省统计局公布的2011年至2020年湖北省卫生机构人员数的数据(表1)来看,近十年以来,湖北省的卫生人员队伍建设水平正在稳步提升。截止2020年末,全省在各级卫生机构工作的人数为53.87万人,较10年前增长了近50%。而每千人口医生数在过去十年从1.66增长了66%至2.77,这一数字作为一个地区衡量医疗资源密度的指标之一,其增长充分反映了湖北省医疗资源配置程度正在逐年攀升。而各项数据中,只有乡村医生和卫生员数量较2011年时有所下降,也体现出了医疗资源配置的城乡变化。

Table 1. Number of persons engaged in health care institutions in Hubei Province (Unit: 10,000 persons)
表 1. 湖北省卫生机构人员数(单位: 万人)

年份	总计	卫生技术人员	执业(助理)医师	执业医师	#注册护士	药师(士)	乡村医生和卫生员	每千人口医生数(人)
2011	36.52	26.81	10.21	8.53	10.21	1.77	4.41	1.66
2012	38.64	28.87	10.91	9.01	11.57	1.74	4.30	1.89
2013	41.12	30.93	11.72	9.65	12.79	1.77	4.29	1.90
2014	43.82	33.55	12.61	10.39	14.40	1.78	4.22	2.17
2015	47.55	36.76	13.60	11.22	16.51	1.82	4.09	2.32
2016	49.54	38.54	14.24	11.74	17.52	1.85	4.04	2.42
2017	51.04	39.97	14.76	12.23	18.43	1.87	3.96	2.50
2018	52.18	41.08	15.19	12.66	19.08	1.87	3.74	2.57
2019	52.98	41.95	15.50	12.97	19.59	1.87	3.45	2.62
2020	53.87	42.90	16.00	13.44	20.00	1.87	3.27	2.77

数据来源: 湖北省统计局。

3. 预测模型的构建及评价

3.1. 模型的构建

根据湖北省统计局所给出的年鉴数据, 首先我们可以构建一个从 2011~2020 的时间序列。设 $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$ 是最初的非负数据列, 将数据累加一次得到新的数据列 $x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$, 即 $x^{(0)}$ 的 1-AGO 序列。

$$x^{(1)}(m) = \sum_{i=1}^m x^{(0)}(i), \quad m = 1, 2, \dots, n \tag{3.1}$$

令 $z^{(1)}$ 为数列 $x^{(1)}$ 的紧邻均值生成数列, 即

$$z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)) \tag{3.2}$$

其中

$$z^{(1)}(m) = \partial x^{(1)}(m) + (1 - \partial)x^{(1)}(m - 1), \quad m = 2, 3, \dots, n \text{ 且 } \partial = 0.5 \tag{3.3}$$

从而得到 GM(1,1)的基本模型

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \tag{3.4}$$

其中 b 表示灰作用量, $-a$ 表示发展系数。将其用矩阵形式表示的话可得

$$u = (a, b)^T, \quad Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ x^{(0)}(4) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ -z^{(1)}(4) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \tag{3.5}$$

由此可得 GM(1,1)模型可变化为 $Y = Bu$ ，再利用最小二乘法得到 a, b 的参数值

$$\hat{u} = \begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (3.6)$$

同时，作为灰色预测理论基础之一的准指数规律检验，在构建模型的过程中也是必不可少的。将 z 数列累加 c 次后我们可得

$$z^{(c)} = (z^{(c)}(2), z^{(c)}(3), \dots, z^{(c)}(n)) \quad (3.7)$$

那么此时该序列的定义级比

$$\partial(k) = \frac{z^{(c)}(k)}{z^{(c)}(k-1)}, k = 2, 3, \dots, n \quad (3.8)$$

如果 $\forall k, \partial(k) \in [a, b]$ ，且区间长度 $\partial = b - a < 0.5$ ，则称累加 c 次后的序列具有准指数规律。因为本文中用数据所构成数列均为非负数列，那么随着 k 的增加，最终 $\partial(k)$ 会趋近于 0，因此要使 $z^{(c)}$ 具有准指数规律，只需要保证 $\partial(k) \in (0, 0.5)$ 即可。因此我们可以将其归纳为两个指标，光滑比小于 0.5 的数据占比一般要大于 60% 以及除去前两个时期外，光滑比小于 0.5 的数据占比大于 90%。

3.2. 模型评价

使用 GM(1,1)模型进行预测时，我们通常会检验模型预测结果对原数据的还原程度，分别通过残差检验和级比偏差检验两种方法来进行。

3.2.1. 级比偏差检验

由 $x^{(0)}(k-1)$ 和 $x^{(0)}(k)$ 计算出原始数据级比

$$\partial(k) = \frac{x^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k-1)}, k = 2, 3, \dots, n \quad (3.9)$$

再根据预测出来的发展系数计算出级比偏差

$$\eta(k) = \left| 1 - \frac{1 - 0.5\hat{a}}{1 + 0.5\hat{a}} \frac{1}{\sigma(k)} \right|, \bar{\eta} = \sum_{k=2}^n \eta(k) / (n-1) \quad (3.10)$$

当 $\bar{\eta} < 0.2$ 时，表明该预测模型对原数据的拟合达到一般要求，当 $\bar{\eta} < 0.1$ 时，则可以认为该预测模型对原数据的拟合效果非常不错。

3.2.2. 残差检验

残差检验的结果基本由预测模型的绝对残差，相对残差以及平均相对残差构成。

绝对残差：

$$\varepsilon(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k), k = 2, 3, \dots, n \quad (3.11)$$

相对残差：

$$\varepsilon_c(k) = \frac{|x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)|}{x^{(0)}(k)} \times 100\%, k = 2, 3, \dots, n \quad (3.12)$$

平均相对残差：

$$\bar{\varepsilon}_c = \frac{n}{n-1} \sum_{k=2}^n |\varepsilon_c(k)| \quad (3.13)$$

当 $\bar{\varepsilon}_c < 20\%$ 时, 我们一般可以认为该预测模型拟合达到一般要求, 当 $\bar{\varepsilon}_c < 10\%$ 时, 我们一般可以认为该预测模型拟合效果非常不错。

4. 预测模型的输出结果

4.1. 湖北省卫生机构人员总数模型预测

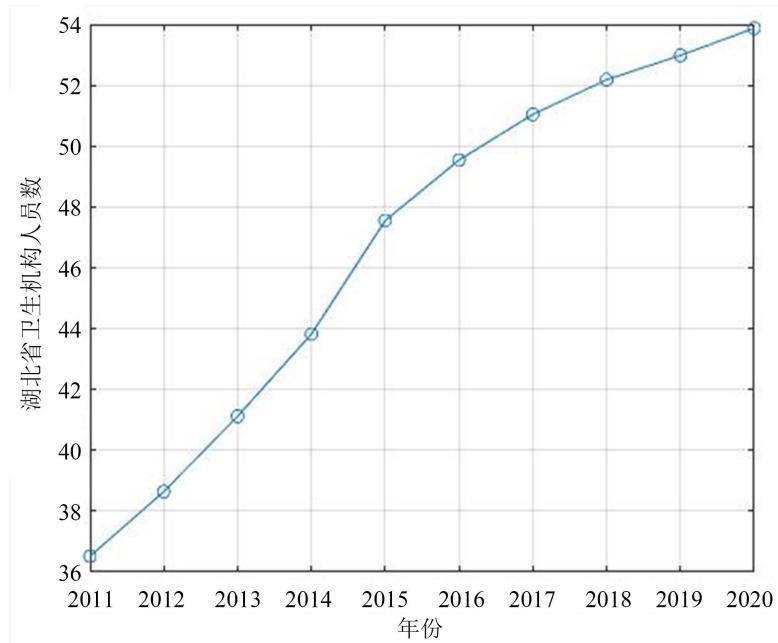


Figure 1. The total number of personnel in health institutions in Hubei Province from 2011 to 2020

图 1. 2011~2020 湖北省卫生机构人员总数

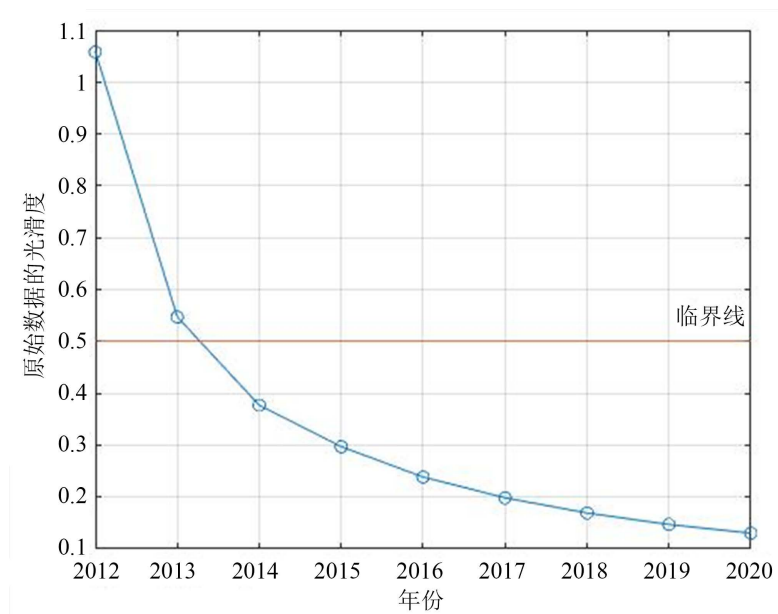


Figure 2. Smoothness of raw data (Total health institutions population)

图 2. 原始数据的光滑度(卫生机构总人数)

将湖北省 2011~2020 年卫生机构总人数(图 1)的数据导入 MATLAB 并对其进行准指数规律检验, 结果如图 2 所示, 其光滑比小于 0.5 的数值有 7 个, 占到总数的 77.7%, 并且在除去前两期数据之后, 其数据光滑比小于 0.5 的占比可达到 100%, 能够通过准指数规律检验, 并可以对其进行下一步预测。

因为原数据的期数大于 4, 所以我们可以将数据组分为训练组和试验组, 如表 2 所示。

Table 2. Data grouping of experimental group and training group (Total number of health institutions)

表 2. 实验组与训练组数据分组情况(卫生机构总人数)

	实验组		训练组
	36.52	47.55	52.18
	38.64	49.54	52.98
	41.12	51.04	53.87
	43.82		

为保证预测结果误差能达到最小值, 我们选择分别用传统 GM(1,1), 新信息 GM(1,1), 新陈代谢 GM(1,1)三种灰色预测模型来根据前 7 期实验组数据预测后 3 期训练组数据, 并计算三种方法对于实验组预测的误差平方和, 选择误差平方和最小的方法进行下一步的预测。

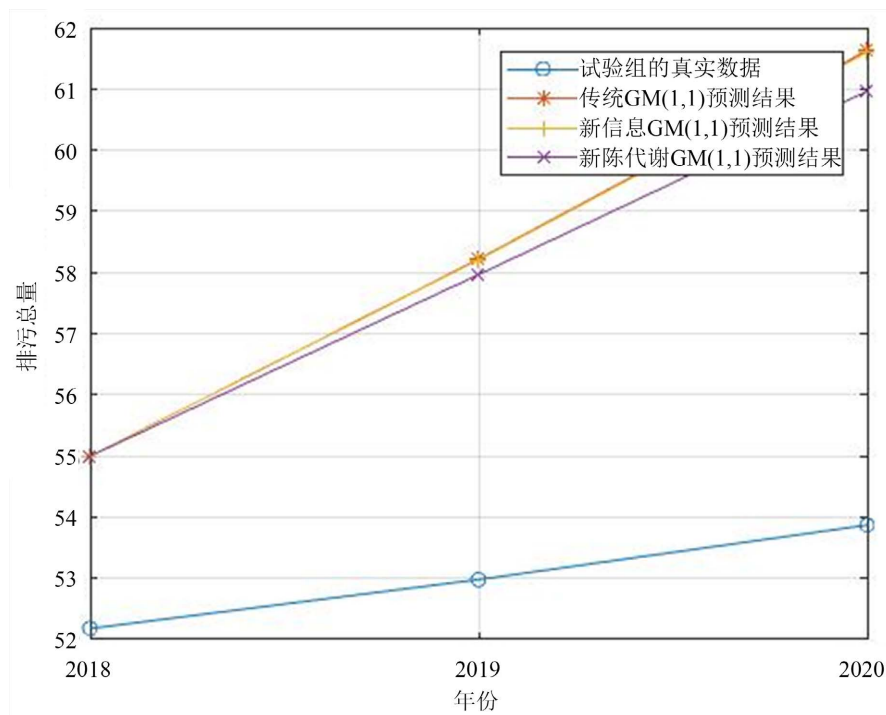


Figure 3. Experimental group prediction data of three prediction methods (total population in health institutions)

图 3. 三种预测方法的实验组预测数据(卫生机构总人数)

经计算得出结果如图 3 所示, 传统 GM(1,1)对于试验组预测的误差平方和为 95.6037, 新信息 GM(1,1)对于试验组预测的误差平方和为 95.0272, 新陈代谢 GM(1,1)对于试验组预测的误差平方和为 83.104, 因为新陈代谢 GM(1,1)模型的误差平方和最小, 所以我们应该选择其进行下一步的预测, 预测结果见图 4 以及表 3。

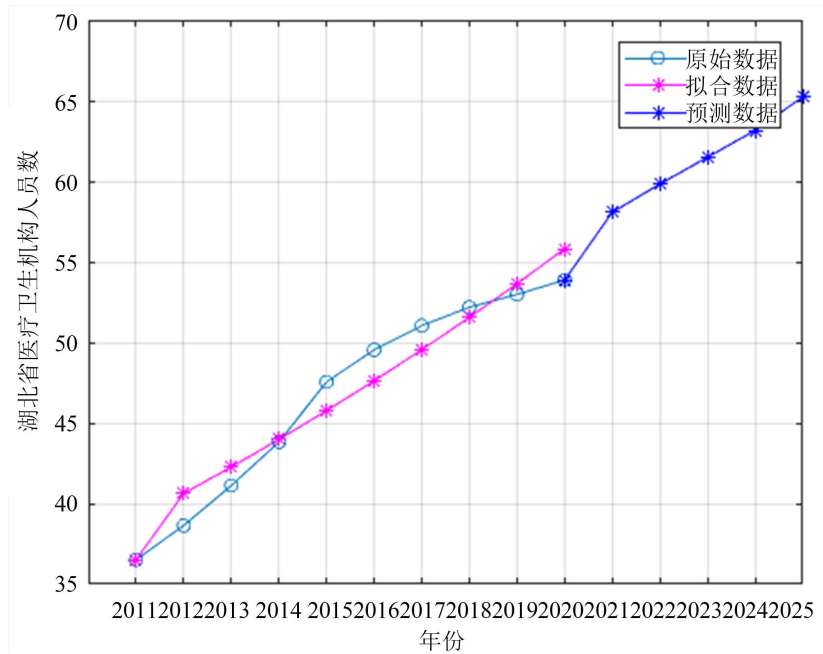


Figure 4. Forecast results of total number of personnel in health institutions in Hubei Province in 2021~2025

图 4. 2021~2025 年湖北省卫生机构人员总数预测结果

Table 3. Prediction results of total number of health institutions in Hubei Province

表 3. 湖北省卫生机构总人数预测结果

湖北省卫生机构总人数预测结果										
年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
拟合数据	36.52	40.627	42.272	43.984	45.765	47.177	49.455	51.552	53.639	55.811
年份	2021	2022	2023	2024	2025					
预测结果	58.017	59.826	61.491	63.154	65.223					
平均相对残差 = 0.027702					平均级比偏差 = 0.020073					

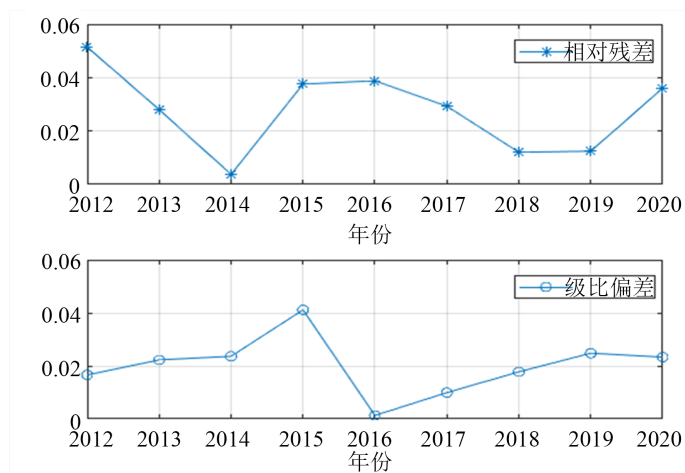


Figure 5. Relative residuals and grade ratio deviations of predicted results (Total population in health facilities)

图 5. 预测结果的相对残差与级比偏差(卫生机构总人数)

如图 5 所示, 平均相对残差为 $0.027702 < 0.1$, 平均级比偏差为 $0.020073 < 0.1$, 两项验证结果均表明新陈代谢 GM(1,1)模型对原数据的拟合程度非常不错。

4.2. 湖北省卫生机构职业医师人员总数模型预测

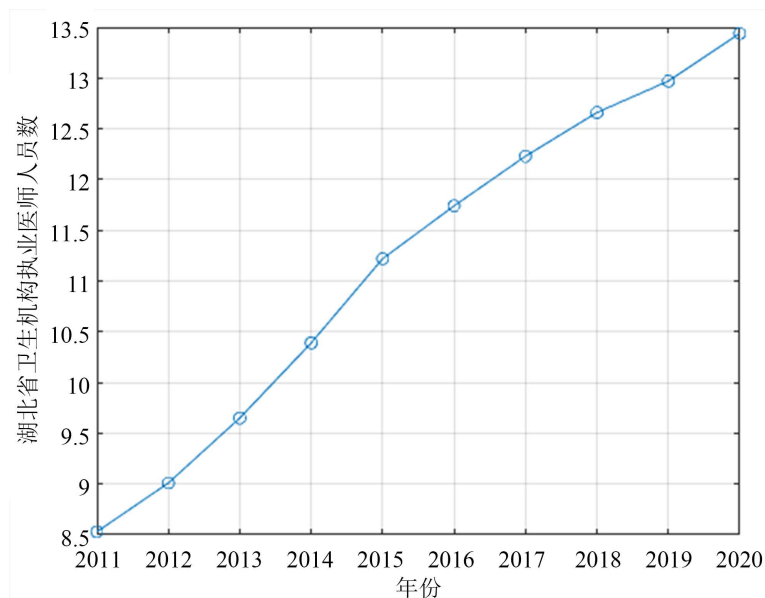


Figure 6. Total number of medical practitioners in health institutions of Hubei Province from 2011 to 2020

图 6. 2011~2020 湖北省卫生机构执业医师人员总数

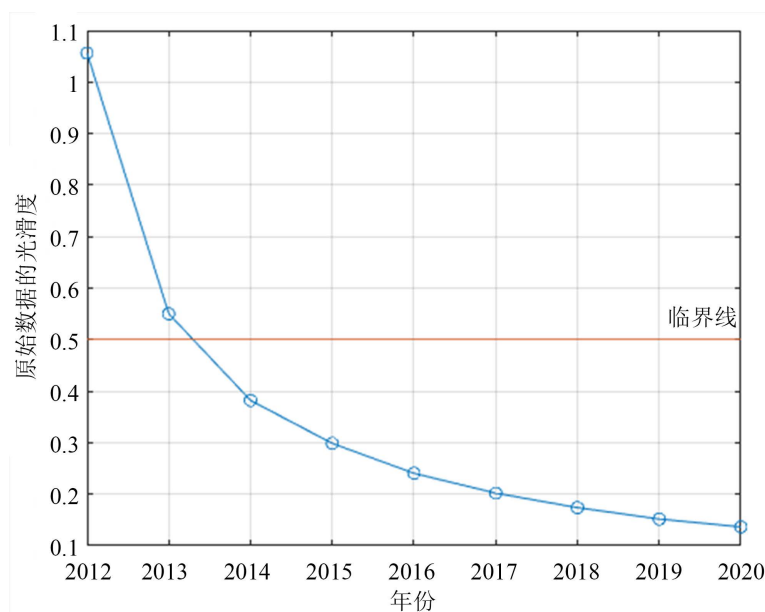


Figure 7. Smoothness of raw data (Number of medical practitioners)

图 7. 原始数据的光滑度(执业医师人数)

结果如图 6 及图 7 所示, 其光滑比小于 0.5 的数值有 7 个, 占到总数的 77.7%, 并且在除去前两期数据之后, 其数据光滑比小于 0.5 的占比可达到 100%, 能够通过准指数规律检验, 并可以对其进行下一步预测。

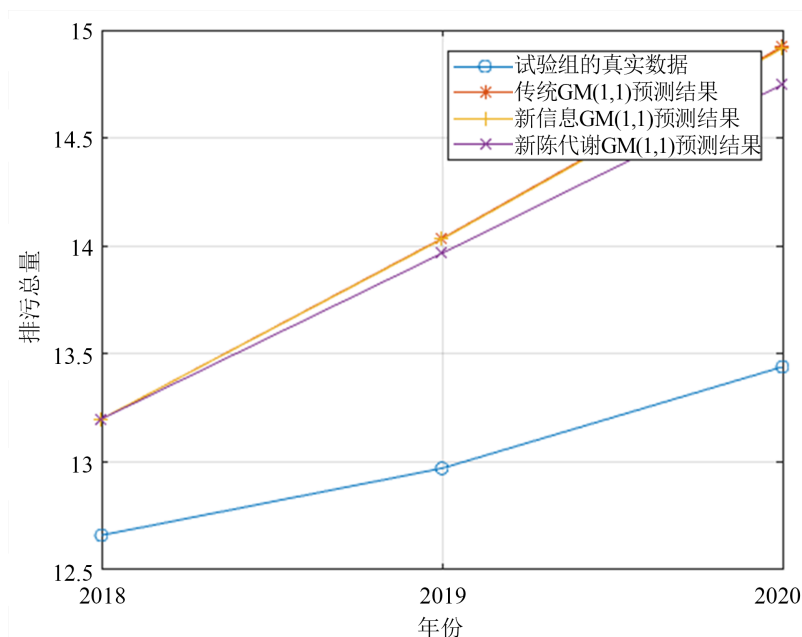


Figure 8. Experimental group prediction data of three prediction methods (Total number of practicing physicians)

图 8. 三种预测方法的实验组预测数据(执业医师总人数)

如图 8 所展示的结果, 传统 GM(1,1)对于试验组预测的误差平方和为 3.6241, 新信息 GM(1,1)对于试验组预测的误差平方和为 3.5917, 新陈代谢 GM(1,1)对于试验组预测的误差平方和为 2.9922。因为新陈代谢 GM(1,1)模型的误差平方和最小, 所以我们应该选择该模型进行预测, 预测结果整理为图 9 及表 4。

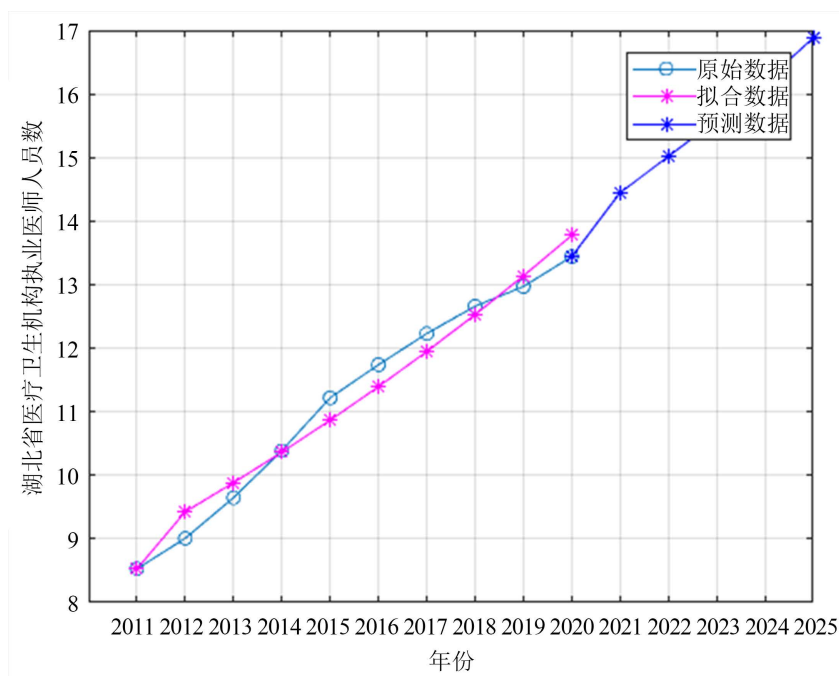


Figure 9. Prediction results of the number of practicing physicians in health institutions of Hubei Province in 2021~2025

图 9. 2021~2025 湖北省卫生机构执业医师人数预测结果

Table 4. Prediction results of the number of practicing physicians in health institutions of Hubei Province in 2021~2025
表 4. 2021~2025 湖北省卫生机构执业医师人数预测结果

湖北省卫生机构执业医师人数预测结果										
年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
拟合数据	8.53	9.427	9.885	10.365	10.868	11.395	11.949	12.528	13.136	13.774
年份	2021	2022	2023	2024	2025					
预测结果	14.442	15.016	15.587	16.189	16.879					
平均相对残差 = 0.022774					平均级比偏差 = 0.015599					

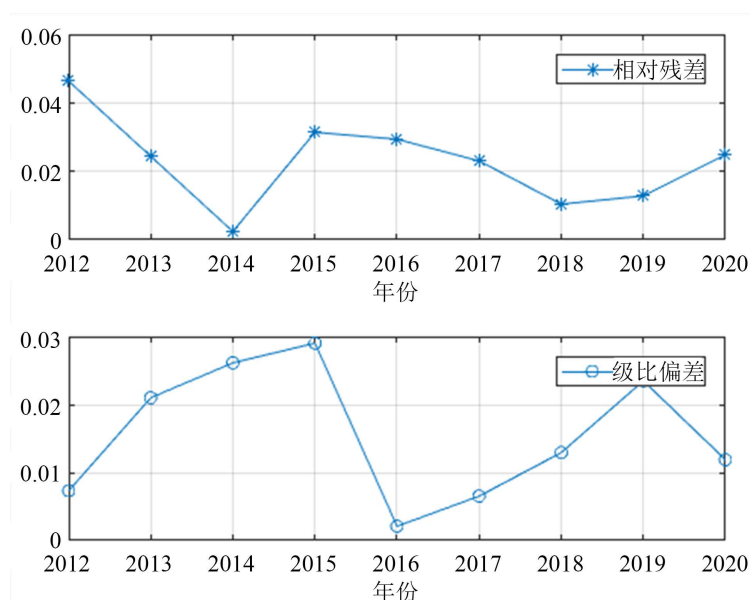


Figure 10. Relative residual and grade ratio deviation of predicted results (Total number of practicing physicians)

图 10. 预测结果的相对残差与级比偏差(执业医师总人数)

如图 10 所示, 平均相对残差为 $0.022774 < 0.1$, 残差检验的结果表明该模型对原数据的拟合程度非常不错。平均级比偏差为 $0.015599 < 0.1$, 级比偏差检验的结果表明该模型对原数据的拟合程度非常不错。

5. 预测结果分析

根据之前模型预测所得结果(图 9 及表 4), 将其未来五年的预测数据整理为以下图表, 结果如表 5 所示。

Table 5. Forecast table of total number of health institutions and number of medical practitioners in Hubei Province (Unit: 10,000 persons)

表 5. 湖北省卫生机构总人数以及执业医师人数预测表(单位: 万人)

年份	卫生机构总人数	执业医师人数	执业医师占比
2021	58.0712	14.4423	24.87%
2022	59.8263	15.0163	25.10%
2023	61.4907	15.5867	25.35%
2024	63.1536	16.1886	25.63%
2025	65.2232	16.897	25.91%

5.1. 湖北省卫生机构人员队伍建设仍将保持增长势头

在过去十年里,湖北省的卫生人员队伍建设水平正在稳步提升。截止2020年末,全省在各级卫生机构工作的人数为53.87万人,较10年前增长了近50%。从预测结果来看,在未来五年内,湖北省的卫生机构人员数量将继续保持当前的上涨趋势,预计将从2020年年末的53.87万人增长至2025年年末的65.22万人。2020年新冠肺炎疫情在湖北的爆发,使得公共卫生人员在社会上的需求量进一步加大,相关人才缺失的现象愈加明显。这也导致了湖北省在2021年的公共卫生支出预算较2020年产生了大幅的增长,由此现象也可以预见,未来几年湖北省公共卫生人才队伍的持续壮大是理论与现实相互作用的结果。

5.2. 湖北省卫生机构人员专业水平将获进一步提升

执业医师的取得通常需要经过多层次的筛选与检验,其经验以及医疗服务水平相对于其他卫生领域工作者通常更高一些,因此,其数量的高低在一定程度上可以反映出医疗队伍的专业化水平。在绝对数量上,湖北的执业医师人数从8.53万人增长至13.44万人,与此同时,执业医师在全省卫生机构总人数的占比也在逐渐升高,预计到2025年,湖北省执业医师人数在整个公共卫生队伍的占比将来到25.91%。这充分表明了湖北省公共卫生队伍人员结构的持续优化以及专业水平的不断提高,也将有利于全省公共卫生体系持续健康的发展。

6. 结论与建议

6.1. 继续保持对公共卫生事业的资金投入力度,完善公共卫生人员的保障机制

公共卫生部门和岗位必须要坚守公益性,因此,必须保障公共卫生从业人员的合理利益诉求,以实现他们对于公共卫生工作的期望,由此形成正向强化激励,推动公共卫生人员去追求和实现自身价值。一是提高群众对于公共卫生重要性的认识,进而激发群众对于公共卫生人员的社会认同感;二是逐步提高政府对于公共卫生的财政经费投入力度,尤其是对公共卫生人员提供专项经费支持,并保证及时足额到位;三是公共卫生人员工资应不低于当地公务员平均工资水平,对于高层次人才薪酬可参考公立医院同一职称或级别医生的收入水平,而领军人物则实行一人一议,同时落实社会保障、特殊津贴、科研专项经费补助等经费投入。

6.2. 加大人才培养力度

公共卫生教育是公共人才培养的重要途径。目前湖北省内拥有华中科技大学同济医学院,武汉大学医学院,湖北中医药大学,湖北医学院等众多医学院校资源,高校资源丰富,拥有一定的人才储备量。当前,应积极依托省内高校资源,继续加大对公共卫生人才的培养力度。与此同时,也需要注重提升应对突发公共卫生事件实践能力和应急能力的培养。除了需要开设相关课程,也要将课程与实践结合起来,加强与实训基地之间的联系。基层公共卫生机构可以与高校、医院建立联合培养机制,进行专业性和规范化岗位培训,并开展持续的、系统的新知识、新理论、新技术与新方法的继续教育[3]。而缓解当前省内公共卫生人员需求缺口的现状,除了从数量上进行补充以外,也应该在人才层次上加以补充。鼓励双一流大学设立高质量的公共卫生学院[4],扩大普通高等院校中公共卫生相关专业的招生规模,并逐步增加公共卫生相关专业硕士、博士等高层次人才培养规模。

6.3. 加强疫情常态化防控阶段对医护人员的心理建设

在过去的两年多的新冠肺炎疫情防控以来,全国坚持以生命至上,人民至上的思想,依照动态清零的总方针,打赢了以武汉保卫战为首的一场场胜利。但由于新冠病毒变化的复杂性,在未来或许我

们仍将面临本土病例以及输入性病例卷土重来的风险。而每一次疫情的暴发不仅是对当地现有公共卫生建设体系的一次考验，同时也是对医护人员身心健康的一次挑战。在短时间内，需要高效率且高负荷的进行一系列抗疫手势，容易使医护人员身心产生问题，进而影响公共卫生体系的正常运行。因此，在进行疫情防控的同时，也需要积极注意对医护人员的身心健康进行引导。在保障疫情防控力度不松懈的前提下，合理安排每个医护人员的工作量，尽可能避免因防疫压力过大导致公共卫生队伍人员流失的情况。

6.4. 加快公共卫生领域社会力量的建设

在突发公共卫生事件中，除了奋战在一线的医护人员之外，大量的政府公职人员、公益机构和企事业单位职工、小区物业服务人员、志愿者等都参与到防控工作中，发挥了巨大的作用。但是，作为非专业人员，这些人本身就面临着巨大的风险，还有可能给他人带来风险。因此，应对其加强公共卫生防控的培训，一是对各级党政部门、事业单位和国有企业中的人员进行经常性、系统性的培训；二是对志愿者、公益机构和非国有企业人员进行不定期上门宣传和培训；三是充分利用“学习强国”APP 等进行网络教育。

参考文献

- [1] 周健, 徐世江. 突发公共卫生事件防控视角下中国公共卫生队伍建设研究[J]. 社科纵横, 2021, 36(5): 88-95.
- [2] 习近平. 以更坚定的信心更顽强的意志更果断的措施 坚决打赢疫情防控的人民战争总体战阻击战[N]. 人民日报, 2020-02-11(001).
- [3] 李勤, 李之键, 章军. 岗位胜任力为核心的基层公共卫生人才培养思考[J]. 全科医学临床与教育, 2019, 17(3): 193-195.
- [4] 黄奇帆. 新冠肺炎突发公共卫生事件下对中国公共卫生防疫体系改革的五点建议[N]. 第一财经日报, 2020-02-13(A11).