

上海市闵行区卫生人力资源的灰色-回归模型预测*

上海市闵行区中心医院(201199) 范梅梅 王瑞[△] 叶丽萍 江帆 赵春燕

【摘要】目的 利用灰色-回归模型预测上海市闵行区卫生人力资源数量,为卫生人力的科学规划提供参考依据。**方法** 通过闵行区统计年鉴,提取 2010-2021 年闵行区床位、卫生人员、执业(助理)医师、注册护士、历年国民生产总值、常住人口数据。采用 SPSS AU 统计软件分别建立闵行区每千人口卫生人员数、执业(助理)医师、注册护士数以及床位数的灰色-回归模型,对 2022-2026 年闵行区卫生技术人员相对数量进行预测。**结果** 应用灰色-回归模型预测,2026 年闵行区每千人口卫生技术人员数为 8.31 人、每千人口执业(助理)医师数为 2.86 人、每千人口注册护士数为 3.99 人、每千人口床位数为 2.7 个,年均增长率分别为 5.9%、5.3%、6.4%、1.2%。平均绝对百分比误差≤3.7%,预测精度较高。**结论** 灰色-回归模型对卫生服务资源整体预测具有实用价值,上海市闵行区应继续加大基层医疗卫生投入与卫生服务体系建设。

【关键词】 灰色-回归模型 线性回归模型 卫生人力资源 预测

【中图分类号】 R197.1 **【文献标识码】** A **DOI** 10.11783/j.issn.1002-3674.2024.02.018

卫生人力资源的配置水平反映国家各地区的医疗卫生水平与人民对医疗资源的利用情况,卫生人力资源可用性不足及其优化配置是目前面临的主要医疗问题^[1]。卫生人力资源的合理分配可以切身保障人民的健康水平,提升卫生服务质量。采取科学手段对卫生人力资源现状进行恰当评估,建立分析模型对资源需求情况量做出有理有据的预测,依据预测结果有的放矢地优化人力资源配置是贯彻《“健康中国 2030”规划纲要》的必由之路。纲要同时明确将每千国民人口中的卫生技术人员数量作为评估指标有助于建立高水平、高质量的卫生服务体系^[2]。上海市闵行区作为上海人口第二大的地区,人们对医疗卫生服务质量要求较高,日益增长的医疗卫生需求与闵行区经济增长缓慢、卫生资源配置不合理、老龄化加重的矛盾日渐明显,这也对闵行区医疗卫生人力资源的配置提出更高要求。尽管使用了许多方法,但文献中未就规划未来医疗需求的最佳方式达成共识,目前各专家学者开展的研究中涉足于基层卫生资源需求预测分析较少,多着眼于省市级别预测分析,本文基于灰色预测模型构建理论,使用灰色-回归模型对闵行区每千人口卫生技术人员数量进行预测,测算未来基层卫生资源规模,旨在预测基层卫生人力资源的需求,为上海市闵行区卫生资源配置的优化和卫生服务体系建设提供科学依据。

资料与方法

1. 资料来源

数据资料来源于 2011-2022 年《上海市闵行区统

计年鉴》。数据指标包括闵行区常住人口数量、国民生产总值(gross domestic product, GDP)、区属医护人员、执业(助理)医师以及注册护士人员数量、床位数量等。

2. 灰色预测模型的建立

(1) 灰色预测模型简称为 GM(grey models) 模型,GM(1, n) 表示一阶的 n 个变量的微分方程型预测模型,可以用于部分信息未知的系统,可以预测一段时间、一段范围内过程发展的模型。GM(1, n) 模型预测需要的样本量少、运算方便、对未来的预测准确度高,适用于长期预测,在医疗卫生领域对未来事物发展的预测中扮演了重要角色^[3]。GM(1, n) 模型用于描述 n 个变量的关系,通过将无规律的原始数据转换成有规律、表现形式趋于稳定的几何曲线数列,随后通过累加生成、构造数据矩阵等方式建立模型,通过数据处理、模型精度检验等方式减少误差,得到最终预测结果。该模型是指数曲线拟合,适应有递增或递减走向的数据预测,收效较好,其精确度>98%^[4]。

(2) GM(1, 1) 模型建立步骤

① 对原始数据进行一次累加。设原始数列 $X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$, 其中 $x^{(0)}(k) \leq 0, k = 1, 2, \dots, n$; $X^{(1)}$ 为 $X^{(0)}$ 的 1-AGO 序列:

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)),$$

$$\text{其中 } x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), x^{(1)}(2), k = 1, 2, \dots, n;$$

② 建立微分方程: $X^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b, (k = 2, 3, \dots, n-1)$

③ 对参数进行最小乘估计。a、b 为未知参数,记 $\hat{a} = (\frac{a}{b})^T = (B^T B)^{-1} B^T y_n$

④ 确定白化方程为 $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$

* 基金项目:上海市医学重点专科建设项目(ZK2019B08);上海市闵行区卫生健康委员会课题(2020MW54);上海市闵行区院级学科建设项目(YJXK-2021-17)

[△]通信作者:王瑞, E-mail: ximi13@163.com

⑤解得响应式为 $x^{(1)}(k) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a}$

⑥模型拟合效果检验。根据残差公式： $\varepsilon(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$ ， $x^{(0)}$ 的方差： $S_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{x}]^2}$ ， $\varepsilon(k)$ 的方差： $S_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n [\varepsilon(k) - \bar{\varepsilon}]^2}$ ，得到模型的后验方差比值： $C = S_2/S_1$ ；根据公式相对误差： $\varepsilon_r(k) = \frac{|x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)|}{x^{(0)}(k)}$ ，平均相对误差： $\bar{\varepsilon}_r(k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n |\varepsilon_r(k)|$ ，可得到模型精度： $P = (1 - \bar{\varepsilon}_r) \times 100\%$ 。计算后依据表 1 判断 GM(1,1) 灰色模型的拟合效果。

表 1 GM(1,1) 精度检验表

拟合等级	C 值	P 值
等级 1(良好)	≤0.35	≥95%
等级 2(合格)	≤0.50	≥80%
等级 3(勉强)	≤0.65	≥70%
等级 4(不合格)	>0.65	<70%

3. 线性回归模型的建立

线性回归模型是最简单的回归形式，建立该模型的意义在于确定各变量之间的相关关系，有助于解释众多变量之间关系的统计评估。线性是指广义的线性，要解释的变量称为因变量或响应变量；指定它的变量称为独立变量或预测变量。本研究建立一元线性回归模型方程式如下所示：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

其中，因变量 y 代表预测目标；自变量 x 为已知变量； β_0 为常数项， β_1 为回归系数。以观测得到的 x, y 数据确定回归系数等各项参数，检验水准 $\alpha = 0.05$ ，以 $P < 0.05$ 表明差异有统计学意义。

4. 灰色-回归模型的建立

(1) 对 GM(1,1) 模型和线性回归两个单一模型

进行组合。将 GM(1,1) 模型的预测结果作为线性回归模型中已知变量 x 的观测值代入方程式，建立组合模型如下：

$$Y(k) = \beta_0 + \beta_1 x(k), k = 2, 3, \dots, n$$

其中， $x(k)$ 代表 GM(1,1) 模型的预测值，将灰色-回归模型的预测值用 $Y(k)$ 表示， β_0 为常数项， β_1 为回归系数。

(2) 建立步骤：①利用 SPSS AU 软件建立 GM(1,1) 模型求出 2010-2021 年上海市闵行区卫生人员、执业(助理)医师、注册护士、床位的卫生资源数据预测值；②通过查阅文献，卫生人力资源与城市的经济发展水平密切相关，人均 GDP 对卫生人力资源的配置有重要作用^[5-6]，所以选择人均 GDP 作为自变量，通过 SPSS AU 软件建立卫生资源数据的线性回归模型；③将 GM(1,1) 模型的预测值代入线性回归模型中，实现灰色预测模型和线性回归模型的组合。④选择平均绝对百分比误差(mean absolute percentage error, MAPE) 对灰色-回归耦合模型的预测精度进行评价： $MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\hat{y}_i - y_i}{\hat{y}_i} \right| \times 100\%$ 。 \hat{y}_i 为实际值， y_i 为预测值。MAPE 值越小，预测结果越好^[7]。

结 果

1. 闵行区主要卫生服务资源的基本情况

上海市闵行区作为上海的主要人口导入区，人口位居上海市各区常住人口数量第二。从 2010 年至 2021 年，闵行区常住人口增长了 9.15%，人均 GDP 增长 90.90%。与 2010 年相比，2021 年闵行区区属卫生技术人员增长 7867 名，执业(助理)医师增长 2526 名，注册护士增长 3865 名，床位数增长 851 张(表 2)。2021 年每千人口卫生人员数、执业(助理)医师、注册护士数和床位数分别比 2010 年增长 64.04%、94.84%、80.24% 和 10.10%。

表 2 2010—2021 年上海市闵行区卫生资源基本情况

年份	年末常住人口/万人	生产总值/亿元	每千人口卫生人员数/人	每千人口执业(助理)医师数/人	每千人口注册护士数/人	每千人口床位数/张
2010	243.10	1364.37	3.345	1.314	1.411	1.730
2011	248.40	1483.07	3.421	1.291	1.437	2.233
2012	250.80	1594.22	3.562	1.382	1.518	2.257
2013	253.22	1722.11	4.038	1.524	1.784	2.289
2014	253.95	1843.75	4.171	1.599	1.844	2.256
2015	253.79	1964.71	4.185	1.568	1.879	2.440
2016	253.98	2101.26	4.609	1.677	2.087	2.470
2017	253.43	2237.29	5.091	1.832	2.373	2.512
2018	254.35	2413.65	5.342	1.930	2.513	2.405
2019	254.93	2520.82	5.813	2.079	2.714	2.404
2020	265.70	2564.82	6.082	2.166	2.782	2.245
2021	265.35	2843.20	6.029	2.156	2.749	1.906

2. GM(1,1) 模型的评价与分析结果

以 2010—2021 年上海市闵行区卫生资源数据作

为建模分析的原始数据建立 GM(1,1) 模型，结果显示，千人口卫生人员数等 4 个指标模型的 C 值均 <

0.35,模型拟合精度为 I 级良好(表 3),模型精度较高,预测值和原始值走势基本一致。预测 2022-2026

年闵行区人均 GDP 为 114166.15 元、120778.59 元、127774.02 元、135174.62 元、143003.86 元。

表 3 GM(1,1)模型拟合评价结果

指标	千人口执业 (助理)医师/人	千人口注册 护士/人	每千人口 卫生人员/人	每千人口 床位/张	人均 GDP/元
参数值	$a=-0.0523$ $b=1.2229$	$a=-0.0285$ $b=4.2603$	$a=-0.0604$ $b=3.1490$	$a=-0.0055$ $b=5.2045$	$a=-0.0563$ $b=56581.3566$
C 值	0.0234	0.0279	0.0224	0.0782	0.0202
P 值	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
预测精度等级	I 级良好	I 级良好	I 级良好	I 级良好	I 级良好

3.线性回归模型的评价和分析结果

经德宾-沃森检验,认为本次研究的因变量和自变量数据(2010-2021 年每千人口卫生技术人员数、执业(助理)医师数,千人口注册护士数)的关系是线性

的,误差服从正态分布,无自相关性,可建立线性回归模型。结果显示 3 个模型均具有统计学意义,拟合优度较高。每千人口床位 P 值>0.05,不建立灰色-回归模型。

表 4 线性回归模型拟合评价结果

指标	表达公式	调整后 R ² 值	F 值	P
千人口执业(助理)医师数	$Y_1 = 0.224 + 0.00001846X$	0.954	206.818	<0.05
千人口注册护士	$Y_2 = -0.352 + 0.00003035X$	0.965	278.301	<0.05
千人口卫生人员	$Y_3 = -0.083 + 0.00005869X$	0.955	236.076	<0.05
千人口床位	$Y_4 = -2.001 + 0.00003250X$	-0.390	0.591	>0.05

4.灰色-回归模型预测精度评价

选择灰色-回归模型预测每千人口卫生技术人员数、每千人口执业(助理)医师数、每千人口注册护士数,选择 GM(1,1)模型预测每千人口床位数,千人口执业(助理)医师数、每千人口注册护士数,预测误差情况如表 5 所示。

表 5 灰色-回归模型预测精度的评价结果

年份	千人口卫生 人员数预测误差	千人口执业(助理) 医师数预测误差	千人口注册护士数 预测误差
2010	0.040	0.041	0.042
2011	0.030	0.052	0.053
2012	0.048	0.031	0.068
2013	0.021	0.020	0.027
2014	0.004	0.020	0.007
2015	0.060	0.049	0.056
2016	0.019	0.030	0.016
2017	0.023	0.010	0.046
2018	0.014	0.012	0.039
2019	0.041	0.036	0.051
2020	0.029	0.027	0.014
2021	0.037	0.028	0.063
MAPE	3%	3%	3.7%

5.预测结果

2022-2026 年闵行区预测每千人口卫生人员数、执业(助理)医师数、注册护士数以及床位数见表 6。预计到 2026 年,卫生资源呈现增长态势,年均增长率分别为 5.9%、5.3%、6.4%、1.2%。注册护士数增长快于执业(助理)医师数。

表 6 卫生资源预测结果

年份	每千人口 卫生人员/人	每千人口执业 (助理)医师/人	每千人口 注册护士/人	每千人口 床位/张
2022	6.617	2.332	3.113	2.574
2023	7.005	2.454	3.314	2.605
2024	7.416	2.583	3.526	2.636
2025	7.850	2.719	3.751	2.667
2026	8.310	2.864	3.988	2.698

讨论

1.卫生人力资源总体达到全区规划要求

卫生人力资源是医疗卫生服务中最重要的资源,随着我国经济社会发展和人口老龄化,对卫生人力资源未来可用性会有所担忧。所以通过建立模型展开对卫生人力资源预测,对长期的卫生人力资源政策规划具有重要意义^[8-9]。上海市卫生健康发展“十四五”规划中提出,在可预期的未来千人口执业(助理)医师数量不少于 3.6 人次,千人口注册护士数量不少于 4.7 人次,千人口床位数不少于 7.5 个^[10]。依据本文建立的灰色-回归模型预测结果,闵行区于 2026 年千人口执业(助理)医师数达 2.86 人,千人口注册护士数达 3.99 人,千人口床位数为 2.69 个,均未达到上海市规划的预期性指标。闵行区是上海市的人口第二大区,但闵行区只有 2 家三乙综合医院、1 家三甲专科医院和 13 家社区卫生服务中心,在公共财政预算支出中,医疗卫生事业支出 21.57 亿元,比上一年度增长 1.6%。区内医疗资源和人口、GDP 并不匹配,结构也不合理,未来可能出现床位供不应求的情况。

2. 灰色-回归模型可为中期卫生服务资源的供需提供决策依据

基于国内外现有文献,有包括灰色预测等数种方法可以评估卫生人力资源的需求^[11-14]。与其他统计学模型相比,灰色预测模型适用于呈单调上升或者单调下降的数据序列^[15-16],但其是单一的时间序列模型,不能反映其他因素对卫生人力资源变化的影响。文献显示地方财政投入对优化医疗资源的配置具有重要的作用^[17]。本研究基于灰色-线性回归模型,在综合分析影响因素的基础上实现对卫生人力资源需求的预测。模型明确纳入了人口和经济影响因素,本研究认为加入经济发展因素的预测结果更接近现实情况。结果表明,本次所建回归模型误差小,MAPE在3.7%以内,预测精度高。本次研究的模型能够帮助决策者制定适当的卫生人力资源规划。

3. 优化卫生资源配置

对卫生资源的投入和管理,应以确保满足患者的需求为先,这会对公共财政和人力管理形成挑战。一方面,对医疗卫生服务的需求需要调整系统的组织结构使医务人员不断提高数量和质量适应需求;另一方面,财政通常也是有限的,不可能无限扩张,将绝大部分财政收入投入到医疗资源建设,也是不现实的。所以无论社会发展和医疗需求的变化带来多少问题,预测和规划仍然要以调查为基础,根据调查结果针对性地解决当下医疗供给侧的矛盾。在现有发展形势下,要使闵行区卫生人力资源配置达到上海市“十四五”目标水平较为困难,但可在卫生政策与制度上大胆的进行突破。建议闵行区相关决策部门发挥主导作用,优化医疗资源配置,加大基层医疗卫生投入,通过福利待遇适度倾斜、职称评定优先、人才引进等手段积极吸引医务人员到基层工作,从人事政策改革促进社区卫生人员的合理配置^[18]。重点满足预期变化所需的基层医生数量,加大对基层地区医疗资源的投入与建设,通过增加基层医疗卫生机构床位数等措施解决人民群众“看病难”、“住院难”等康复难题,切实保障基层群众的医疗权益。

本研究的局限性在于构建的模型仅从时间发展和经济发展的角度去进行预测,忽略了其他因素在一定程度上带来的影响,这可能会导致预测值和实际值产生一定的偏差,影响预测结果的导向性。因此,在今后

的研究中,应该尽可能综合考虑各种因素,降低所带来的影响,提升预测结果的可靠性。

参 考 文 献

- [1] Chernew ME, Newhouse JP. Chapter One-Health Care Spending Growth. Handbook of Health Economics, 2011, 2:1-43.
- [2] 陈竺. “健康中国 2020 战略”研究报告. 北京:人民卫生出版社, 2012.
- [3] 庄少武, 黎燕宁. 广西乡镇卫生人力资源配置现状分析及预测的研究. 卫生软科学, 2020, 34(2):51-55.
- [4] 李青云, 徐英, 赵运涛. 灰色预测模型对医疗机构卫生人力数量预测研究. 中国医学装备, 2015(12):20-22, 23.
- [5] 李丽清, 赵灵, 李佳文, 等. 基于模糊集定性比较分析的我国基层医疗资源配置与经济协调发展现状及其影响因素研究. 中国全科医学, 2022, 25(10):1261-1268.
- [6] 洪志斌, 卢若艳, 李跃平. 福建省卫生资源配置研究. 中国卫生资源, 2017, 20(1):40-44.
- [7] 王茜, 孙大强. 基于多元回归-灰色模型的天津市卫生资源配置预测研究. 中国慢性病预防与控制, 2022, 30(8):592-596.
- [8] Dass AR, Deber R, Laporte A. Forecasting Staffing Needs for Ontario's Long-Term Care Sector. Healthc Policy, 2022, 17(Sp):91-106.
- [9] Basu K, Gupta A. A physician demand and supply forecast model for Nova Scotia. Cah Sociol Demogr Med, 2005, 45(2-3):255-285.
- [10] 上海市人民政府. 上海市卫生健康发展“十四五”规划.(2021-07-30)[2023.1]. <https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20210715/21c1fee939b54571a2de2ed390af4060.html>.
- [11] 曹媛媛. 线性回归耦合灰色模型在区域卫生人力资源预测中的应用. 中国医院统计, 2019, 26(2):130-132.
- [12] Huang R, Fu X, Pu Y. A Novel Fractional Accumulative Grey Model with GA-PSO Optimizer and Its Application. Sensors (Basel), 2023, 23(2):636.
- [13] 周萍, 纪洁, 许靖, 等. 浦东新区区属公立医疗机构卫生技术人员数量的系统动力学预测. 中国卫生资源, 2016, 19(4):340-344, 349.
- [14] 张艳丽. 卫生技术人员数量变化趋势预测的灰色神经网络模型. 中国卫生统计, 2016, 33(2):331-332, 335.
- [15] Nieszporska S. Grey systems in the management of demand for palliative care services in Poland. Health Econ Rev, 2022, 12(1):3-13.
- [16] 刘磊, 褚金花, 尹爱田. 灰色模型方法在区域卫生人力预测中的应用. 中国卫生统计, 2011, 28(4):453-454.
- [17] 王丰阁, 张建华. 卫生资源向社区卫生服务中心配置的评价. 中国卫生经济, 2013, 32(4):15-16.
- [18] 丁海峰. 上海市医护比例发展现状及趋势预测研究. 中国医疗管理科学, 2021, 11(1):33-37.

(责任编辑:邓妍)