

基于灰色 GM(1,1)模型的 2023—2027 年闵行区 脑卒中死亡趋势预测

陈林利 轩水丽 倪静宜 郭佳旗 刘 薇 许慧琳 周毅彬[△]

(上海市闵行区疾病预防控制中心信息管理科 上海 201101)

【摘要】 目的 分析 2012—2022 年上海市闵行区脑卒中死亡变化趋势,预测 2023—2027 年脑卒中死亡情况。**方法** 测算 2012—2022 年上海市闵行区脑卒中死亡的年度变化百分比(annual percentage change, APC),运用 Joinpoint 线性回归模型进行时间趋势分析。以 2012—2022 年上海市闵行区脑卒中死亡率构建灰色 GM(1,1)模型,运用相对误差和级比偏差评估模型拟合效果,对 2023—2027 年上海市闵行区脑卒中死亡率进行预测分析。**结果** 2012—2022 年上海市闵行区脑卒中全人群、男性和女性粗死亡率均呈上升趋势(全人群:APC=2.50%, $P<0.001$;男性:APC=3.41%, $P<0.001$;女性:APC=1.46%, $P=0.008$)。灰色 GM(1,1)模型预测 2023—2027 年上海市闵行区脑卒中死亡率呈上升趋势,2027 年全人群脑卒中粗死亡率为 97.55/10 万,男性为 112.31/10 万,女性为 83.33/10 万,检验评估模型拟合效果达到较高要求。**结论** 近十年来上海市闵行区脑卒中死亡率呈明显上升趋势,5 年预测结果显示死亡率呈逐年上升趋势。

【关键词】 脑卒中; 死亡趋势; 预测; 灰色 GM(1,1)模型

【中图分类号】 R743.3, R195.4 **【文献标志码】** A **doi:** 10.3969/j.issn.1672-8467.2024.06.006

Predicting the death trend of stroke in Minhang District, Shanghai from 2023 to 2027 based on grey GM(1,1) model

CHEN Lin-li, XUAN Shui-li, NI Jing-yi, GUO Jia-qi, LIU Wei, XU Hui-lin, ZHOU Yi-bin[△]

(Department of Information Management, Shanghai Minhang Center for Disease Prevention and Control,
Shanghai 201101, China)

【Abstract】 Objective To study the trend of stroke mortality in Minhang District, Shanghai from 2012 to 2022 and to predict stroke mortality from 2023 to 2027. **Methods** Annual percentage change (APC) of stroke deaths in Minhang District, Shanghai from 2012 to 2022 was calculated, and then Joinpoint linear regression model was used to analyze the time trend of stroke deaths. A grey GM(1,1) model was constructed based on the stroke mortality rate in Minhang District, Shanghai from 2012 to 2022. The model was used to predict and analyze the stroke mortality rate in Minhang District, Shanghai from 2023 to 2027. The fitting effect of the model was evaluated using relative error and grade deviation. **Results** From 2012 to 2022, the overall mortality rate of stroke in Minhang District, Shanghai was on the rise for both males and females (total population: APC=2.50%, $P<0.001$; male: APC=3.41%, $P<0.001$; female: APC=1.46%, $P=0.008$). The grey GM(1,1) model was used to predict the increasing trend of stroke mortality rate in Minhang District from 2023 to 2027. The crude mortality rate of stroke in the entire population in 2027 would be 97.55/100 000, with 112.31/100 000 for males and 83.33/100 000 for females.

上海市闵行区自然科学研究课题(2022MHZ011);上海市闵行区公共卫生重点学科建设项目(MGWXK2023-11)

[△]Corresponding author E-mail: yibin_zhou@hotmail.com

网络首发时间:2024-11-18 12:13:49 网络首发地址:https://link.cnki.net/urlid/31.1885.r.20241115.0834.002

The fitting effect of the model was tested and evaluated to meet high requirements. **Conclusion** In the past decade, the mortality rate of stroke in Minhang District, Shanghai has shown a significant upward trend. The 5-year prediction results showed that the mortality rate will still on the rise year by year.

【Key words】 stroke; death trend; prediction; grey GM(1,1) model

* This work was supported by the Natural Science Research Project of Minhang District, Shanghai (2022MHZ011) and the Key Discipline Foundation for Public Health in Minhang District, Shanghai (MGWXX2023-11).

脑卒中是由于脑部血管突然破裂或因血管阻塞导致血液不能流入大脑而引起脑组织损伤的一组急性脑血管病,是严重危害中国居民健康的重大慢性非传染性疾病,具有高发病率、高死亡率、高致残率、高复发率、高经济负担的特点,是居民致死、致残的首位病因^[1]。全球疾病负担研究显示,我国总体脑卒中终生发病风险为39.90%,位居全球首位,每5人中约2人会罹患脑卒中,2021年我国居民因脑血管病致死比例超过20%^[2]。

对脑卒中死亡率进行系统、长期监测和预测研究,能及时掌握脑卒中死亡变化趋势,为评估卫生政策效果、制定防控措施提供数据支撑。由于死亡率受到社会因素、环境因素等多种因素影响,具有时间序列性、样本量小、建模信息少等特点,传统的建模方法很难达到较好的预测效果,灰色GM(1,1)模型是研究小数据、信息贫乏等不确定性问题的有效途径^[3]。本研究采用上海市闵行区脑卒中死亡登记数据,分析2012—2022年上海市闵行区脑卒中死亡变化趋势,构建灰色GM(1,1)模型以预测2023—2027年脑卒中死亡情况,旨在为区域脑卒中防控策略和措施制定提供科学的决策依据。

资料和方法

资料来源 脑卒中死亡登记数据来源于上海市居民死因登记系统,以2012—2022年闵行区户籍居民脑卒中死亡登记数据为研究对象。脑卒中死因分类和诊断标准均采用国际疾病分类方法(ICD-10)。

质量控制 闵行区为全国死因监测点,依托上海市居民死因登记系统开展全人群死因登记工作,系统覆盖全区各级医疗机构、敬老院、医疗急救中心和公安系统。闵行区建立了完善的死因登记管理制度,所有死亡登记资料均通过市、区多级审核质控和校验,确保死亡登记资料的准确性和完整

性。区疾控中心定期与公安、妇幼等部门核对,每年开展两次死因漏报调查,避免发生死亡漏报。

脑卒中诊断标准 脑卒中为急性脑循环障碍所致的局限性或全面性脑功能缺损综合征,包括出血性脑卒中(蛛网膜下腔出血、脑内出血、其他非创伤性颅内出血)(I60-I62)、缺血性脑卒中(即脑梗死)(I63)及未分类脑卒中(I64),排除短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)及慢性脑动脉硬化^[4]。

死亡趋势分析 根据人口数据和死亡登记数据计算闵行区脑卒中粗死亡率、标化死亡率等指标。测算脑卒中死亡年度变化百分比(annual percentage change, APC),运用Joinpoint线性回归模型对脑卒中死亡率进行时间趋势分析,该模型是一种时间序列趋势分析方法,是通过若干拐点将研究时间分割成不同区间,在各区间内建立并优化回归模型,进而详细地评价疾病频率在各区间内的变化趋势及其整体变化趋势^[5]。

灰色GM(1,1)模型 灰色GM(1,1)模型以时间序列性资料为基础,通过对无规律的原始数列进行转换,建立有规律生成数列的回归方程,并应用该方程对研究对象动态发展趋势进行预测,是一种通过少量、不完全的信息建立数学模型的一种预测方法^[6-8]。具体建模过程如下:

(1) 假设原始序列: $X^{(0)} = \{\chi^{(0)}(1), \chi^{(0)}(2), \dots, \chi^{(0)}(n)\}$, $\chi^{(0)}(\kappa) \geq 0, \kappa = 1, 2, \dots, n$ 。

(2) 通过对原始序列依次进行一阶累加,获得1-AGO序列 $X^{(1)}, X^{(1)} = \{\chi^{(1)}(1), \chi^{(1)}(2), \dots, \chi^{(1)}(n)\}$, 其中 $\chi^{(1)}(\kappa) = \sum_{i=1}^{\kappa} \chi^{(0)}(i), \kappa = 1, 2, \dots, n$ 。

(3) 计算 $X^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列: $z^{(1)} = \{z^{(1)}(1), z^{(1)}(2), \dots, z^{(1)}(n)\}$, 其中 $z^{(1)}(\kappa) = \frac{1}{2} [\chi^{(1)}(\kappa) + \chi^{(1)}(\kappa-1)], \kappa = 2, 3, \dots, n$; 称 $\chi^{(0)}(\kappa) + a z^{(1)}(\kappa) = b$ 为GM(1,1)模型的基本型($\kappa = 2, 3, \dots, n$), 其中 a 为发展系数, b

为灰色作用量。

(4) 利用最小二乘法对 a 、 b 进行参数估计, 获得

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$
$$B = \begin{bmatrix} - & Z^{(0)}(2) & 1 \\ - & Z^{(0)}(3) & \\ \dots & \dots & \dots \\ - & Z^{(0)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$
$$Y = \begin{bmatrix} \chi^{(0)}(2) \\ \chi^{(0)}(3) \\ \dots \\ \chi^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

(5) 在获得 a 、 b 参数估计值后, 再代入 GM(1,1) 模型的白化方程, 即

$$\frac{dx^{(0)}}{dt} + \hat{a}\chi^{(0)} = \hat{b}$$

求解该微分方程即可获得 GM(1,1) 模型(基本型)的时间响应序列:

$$\chi^{(0)}(\kappa+1) = \left[\chi^{(0)}(1) = -\frac{\hat{b}}{\hat{a}} \right] e^{-\hat{a}\kappa} + \frac{\hat{b}}{\hat{a}}, \kappa = 0, 1, \dots, n$$

(6) 由于上述时间响应序列为原始序列的一次累加序列, 因此需再进行逆还原(一次累减过程), 方可最终获得原始序列模拟值:

$$\hat{\chi}^{(0)}(\kappa+1) = \hat{\chi}^{(0)}(\kappa+1) - \hat{\chi}^{(0)}(\kappa)$$

模型检验 为检验灰色 GM(1,1) 模型的可靠性和预测准确性, 需要对该模型进行拟合效果检验。模型残差检验采用相对误差和级比偏差两项指标检验模型拟合效果, 两个指标数值均越小越好, <0.1 说明达到较高要求, $0.1 \sim 0.2$ 可以认为基本达到要求。若模型拟合度高, 则可以认为模型预测误差小, 模型可用于外推。

统计学分析 使用 Joinpoint 软件建立回归模型, 计算不同年份的 APC, 分析脑卒中粗死亡率和标化死亡率的时间变化趋势, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。运用 Matlab 2023 软件建立灰色 GM(1,1) 模型并检验拟合效果, 对 2023—2027 年闵行区脑卒中死亡情况进行预测分析^[7]。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

脑卒中死亡趋势变化情况 2012—2022 年闵行区脑卒中全人群粗死亡率从 68.73/10 万上升到

87.42/10 万, 男性粗死亡率从 69.19/10 万上升到 97.43/10 万, 女性粗死亡率从 68.25/10 万上升到 77.37/10 万, 均呈上升趋势(全人群: $APC=2.50\%$, $P<0.001$; 男性: $APC=3.41\%$, $P<0.001$; 女性: $APC=1.46\%$, $P=0.008$)。全人群和女性脑卒中标化死亡率呈下降趋势(全人群: $APC=-0.99\%$, $P=0.032$; 女性: $APC=-2.13\%$, $P=0.001$), 男性标化死亡率有所波动(男性: $APC=-0.11\%$, $P=0.876$)(表 1)。

表 1 2012—2022 年上海市闵行区脑卒中死亡变化趋势分析
Tab 1 Analysis of the trend of stroke mortality in Minhang District, Shanghai from 2012 to 2022 (1/100 000)

Year	Crude mortality			Standardized mortality		
	Total	Male	Female	Total	Male	Female
2012	68.73	69.19	68.25	18.19	19.31	16.88
2013	69.42	66.88	72.01	17.71	17.90	17.53
2014	69.19	71.05	67.29	17.29	18.45	16.06
2015	72.90	81.56	64.06	18.62	22.70	14.11
2016	71.81	73.82	69.75	16.95	18.34	15.38
2017	70.40	72.37	68.39	15.48	16.50	14.17
2018	73.75	80.38	67.04	15.72	17.62	13.27
2019	81.78	89.04	74.46	17.11	19.83	13.83
2020	79.15	82.97	75.31	15.91	17.28	14.28
2021	83.75	89.87	77.61	16.19	17.87	14.02
2022	87.42	97.43	77.37	16.79	19.38	13.63
APC (%)	2.50	3.41	1.46	-0.99	-0.11	-2.13
t	7.46	6.30	3.37	-2.54	-0.16	-4.51
P	<0.001	<0.001	0.008	0.032	0.876	0.001

不同亚型脑卒中死亡情况 2012—2022 年闵行区脑卒中全人群缺血性脑卒中粗死亡率从 32.9/10 万上升到 59.61/10 万, 男性粗死亡率从 31.51/10 万上升到 64.74/10 万, 女性粗死亡率从 34.33/10 万上升到 54.46/10 万, 均呈上升趋势(全人群: $APC=6.17\%$, $P<0.001$; 男性: $APC=7.77\%$, $P<0.001$; 女性: $APC=4.61\%$, $P<0.001$)。全人群出血性脑卒中粗死亡率从 29.27/10 万下降到 25.73/10 万, 女性粗死亡率从 26.15/10 万下降到 20.82/10 万, 均呈缓慢下降趋势, 男性粗死亡率无明显变化趋势(全人群: $APC=-1.32\%$, $P=0.041$; 女性: $APC=-2.12\%$, $P=0.045$)(表 2)。缺血性脑卒中占比从 2012 年的 47.87% 上升到 2022 年的 68.19%, 已成为脑卒中死亡的主要类型。

灰色 GM(1,1) 模型拟合情况 运用 2012—2022 年闵行区脑卒中粗死亡率建立灰色 GM(1,1)

表 2 2012—2022 年上海市闵行区不同亚型脑卒中死亡变化趋势分析

Tab 2 Analysis of the trend of stroke mortality in different subtypes in Minhang District, Shanghai from 2012 to 2022 (1/100 000)									
Year	Cerebral arterial thrombosis			Hemorrhagic stroke			Unspecified		
	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female
2012	32.90	31.51	34.33	29.27	32.30	26.15	6.56	5.38	7.76
2013	36.69	32.95	40.52	26.68	28.05	25.27	6.05	5.88	6.22
2014	37.75	33.99	41.59	25.43	29.19	21.58	6.02	7.87	4.12
2015	37.87	36.46	39.32	28.57	37.40	19.56	6.45	7.70	5.18
2016	40.60	38.84	42.38	26.48	30.56	22.31	4.74	4.42	5.06
2017	43.38	39.88	46.94	24.10	29.6	18.52	2.91	2.89	2.93
2018	47.03	47.62	46.42	24.05	29.92	18.10	2.67	2.83	2.51
2019	51.59	52.49	50.69	26.80	32.39	21.15	3.39	4.16	2.62
2020	52.23	51.14	53.33	24.88	29.97	19.76	2.04	1.86	2.21
2021	58.64	61.12	56.14	23.39	26.62	20.15	1.73	2.14	1.32
2022	59.61	64.74	54.46	25.73	30.62	20.82	2.08	2.07	2.08
APC (%)	6.17	7.77	4.61	-1.32	-0.64	-2.12	-13.43	-12.61	-14.10
t	20.61	16.23	10.39	-2.38	-0.75	-2.33	-8.00	-4.91	-7.75
P	<0.001	<0.001	<0.001	0.041	0.474	0.045	<0.001	0.001	<0.001

模型并反复检验,采用相对误差值和级比偏差值检验模型的拟合效果。脑卒中全人群死亡率、男性死亡率(2015 年除外)和女性死亡率拟合模型的相对误差值均<0.1,2015 年男性相对误差为 10.15%。脑卒中全人群死亡率、男性死亡率和女性死亡率拟合模型的级比偏差均<0.1(表 3)。相对误差值和级比偏差值均显示预测模型拟合效果达到较高要求,可认为本研究建立的全人群、男性和女性脑卒中死亡率的灰色 GM(1,1)模型预测误差均较小,可应用于外推预测。

表 3 灰色 GM(1,1)模型检验拟合结果分析
Tab 3 Analysis of Grey GM (1,1) model testing and fitting results

Year	Total		Male		Female	
	Relative error (%)	Grade ratio deviation	Relative error (%)	Grade ratio deviation	Relative error (%)	Grade ratio deviation
2012	0	—	0	—	0	—
2013	3.25	0.02	2.05	0.07	8.14	0.04
2014	0.31	0.03	0.46	0.02	0.06	0.09
2015	2.83	0.03	10.15	0.10	6.72	0.07
2016	1.31	0.04	2.87	0.14	0.35	0.07
2017	6.13	0.05	8.73	0.06	3.32	0.04
2018	4.05	0.02	1.44	0.07	7.15	0.04
2019	3.63	0.07	5.11	0.06	1.92	0.08
2020	2.26	0.06	5.52	0.11	1.42	0.01
2021	0.74	0.03	0.95	0.04	2.75	0.01
2022	2.34	0.02	3.51	0.04	0.82	0.02

灰色 GM(1,1)模型预测结果与残差 分析 2012—2022 年闵行区脑卒中粗死亡率实际值和预测值,全人群、男性和女性的粗死亡率模型的残差范围分别为 0~4.32/10 万、0~8.28/10 万和 0~5.86/10 万(表 4)。

脑卒中死亡率趋势预测 根据 2012—2022 年闵行区脑卒中粗死亡率预测 2023—2027 年闵行区脑卒中死亡水平。预测结果显示:2023—2027 年闵行区脑卒中粗死亡率呈上升趋势,预计 2027 年脑卒中全人群、男性和女性死亡率分别为 97.55/10 万、112.31/10 万和 83.33/10 万(表 5)。

表 4 灰色 GM(1,1)模型预测值分析
Tab 4 Analysis of Grey GM (1,1) model prediction values (1/100 000)

Year	Total			Male			Female		
	Actual value	Predictive value	Residual	Actual value	Predictive value	Residual	Actual value	Predictive value	Residual
2012	68.73	68.73	0	69.19	69.19	0	68.25	68.25	0
2013	69.42	67.16	2.26	66.88	68.25	-1.37	72.01	66.15	5.86
2014	69.19	68.98	0.21	71.05	70.72	0.33	67.29	67.25	0.04
2015	72.90	70.84	2.06	81.56	73.28	8.28	64.06	68.37	-4.31
2016	71.81	72.75	-0.94	73.82	75.94	-2.12	69.75	69.50	0.25
2017	70.40	74.72	-4.32	72.37	78.69	-6.32	68.39	70.66	-2.27
2018	73.75	76.74	-2.99	80.38	81.54	-1.16	67.04	71.83	-4.79
2019	81.78	78.81	2.97	89.04	84.49	4.55	74.46	73.03	1.43
2020	79.15	80.94	-1.79	82.97	87.55	-4.58	75.31	74.24	1.07
2021	83.75	83.13	0.62	89.87	90.72	-0.85	77.61	75.48	2.13
2022	87.42	85.37	2.05	97.43	94.01	3.42	77.37	76.73	0.64

表 5 2023—2027 年上海市闵行区脑卒中死亡水平预测分析
Tab 5 Prediction analysis of stroke mortality in Minhang District, Shanghai from 2023 to 2027 (1/100 000)

Year	Total	Male	Female
2023	87.68	97.41	78.01
2024	90.05	100.94	79.30
2025	92.48	104.60	80.62
2026	94.98	108.38	81.96
2027	97.55	112.31	83.33

讨 论

灰色系统理论是我国邓聚龙教授创立的，GM(1,1)模型是灰色系统中最基本的预测模型，也是灰色系统理论体系中最重要方法之一。与传统的数理统计模型相比，灰色 GM(1,1)模型最大的优点是对样本容量和概率分布没有严格的要求，仅需要少量的数据即可拟合，运算简便且预测效果较好，是研究小数据、信息贫乏等不确定性问题的有效途径，近年来已被广泛应用于疾病发病和死亡流行趋势的预测研究^[9-10]。本研究分别拟合了闵行区全人群、男性、女性脑卒中死亡率灰色 GM(1,1)模型，结合相对误差值和级比偏差值结果，认为拟合的模型预测精准度较好，能够准确预测闵行区脑卒中死亡流行趋势。开展基于 GM(1,1)模型的脑卒中死亡趋势预测研究，将脑卒中防治关口前移，为及时调整脑卒中防控策略提供数据支撑，相关部门也能根据最新的监测数据及时更新预测模型，以便

进行长期分析与预测。

2012—2022 年闵行区脑卒中粗死亡率呈上升趋势，从 68.73/10 万上升到 87.42/10 万，低于全国城市死亡水平（2018 年 129/10 万）^[11]和重庆市（2018 年 116.34/10 万）^[12]，高于浙江省杭州市（2020 年 50.52/10 万）^[13]和北京市朝阳区（2020 年 57.35/10 万）^[14]，但全国城市和北京市朝阳区脑卒中死亡水平均无明显上升趋势，浙江省杭州市脑卒中死亡水平呈下降趋势。闵行区全人群和女性脑卒中标准化死亡率呈下降趋势，男性标准化死亡率没有明显的下降趋势，闵行区标准化死亡率低于浙江省杭州市（2020 年 25.95/10 万）、北京市朝阳区（2020 年 22.74/10 万）和重庆市（2018 年 85.81/10 万）。在不同脑卒中类型中，缺血性脑卒中死亡率高于出血性脑卒中，缺血性脑卒中死亡率呈明显的上升趋势，与全国流行特征一致^[15]，出血性脑卒中呈缓慢的下降趋势。闵行区脑卒中粗死亡率呈明显上升趋势，可能与人口老龄化程度加剧有关。一方面，随着年龄增长机体生理功能降低、免疫力下降，易并发多种基础疾病，从而增加脑卒中的发病和死亡风险；另一方面，老年人口比例增加导致了脑卒中发病和死亡高危人群的数量不断上升。标准化死亡率呈下降趋势可能与区域脑卒中医疗救治体系不断完善、全民健康素养不断提升以及广泛的科普宣教有关，区域脑卒中防治取得了一定的成效。

脑卒中是多个影响因素长期并且综合作用引起的疾病。脑卒中危险因素分为不可干预性和可

干预性两类,不可干预性危险因素包括年龄、种族、遗传因素等,可干预性危险因素是脑卒中的主要干预因素,如吸烟、饮酒、不合理膳食、缺乏体育锻炼等不良生活方式,肥胖、同型半胱氨酸血症等因素,高血压、心脏病、糖尿病、高血脂等常见慢性病^[16-17]。研究表明,我国脑卒中性别特征表现为男性高于女性^[18]。闵行区脑卒中死亡也呈现出明显的性别特征,2012—2022年闵行区男性脑卒中粗死亡率高于女性,预测2023—2027年男性脑卒中粗死亡率仍然高于女性,2012—2022年男性脑卒中标准化死亡率无明显下降趋势。一方面,不同性别的生理结构不同,雌激素对女性有保护作用^[19];另一方面,男性暴露于高血脂、高血压、肥胖、吸烟、饮酒、缺乏体育锻炼等脑卒中危险因素的比例更高。针对重点人群(男性、老年人群),开展健康生活方式、脑卒中危险因素的健康宣教和综合防控措施,可取得更好的脑卒中防治效果。

随着人口老龄化的加剧,老年人口逐渐增多,截止到2022年底,闵行区老年人口(≥ 65 岁)达到24.22%,在降低脑卒中发病和死亡方面面临着巨大的挑战。预测2023—2027年闵行区脑卒中死亡水平呈上升趋势,2027年闵行区全人群脑卒中粗死亡率将达到97.55/10万(男性112.31/10万,女性83.33/10万),这与饶蓁蓁等^[20]预测我国缺血性脑卒中和出血性脑卒中死亡变化趋势一致。为降低脑卒中对辖区居民健康的危害程度,需推进区域脑卒中防、治、管、康一体化发展,开展脑卒中筛查预防、急诊急救、规范治疗、康复随访的院前、院中、院后全流程健康管理服务模式建设,不断提高人群脑卒中危险因素的知晓率、治疗率和控制率,提高脑卒中救治成功率,降低脑卒中发生率、复发率、致死率和致残率^[18]。

综上所述,本研究运用灰色GM(1,1)模型预测闵行区脑卒中死亡变化情况,以历史数据挖掘拟合未来数据,反映了在一段时期内脑卒中死亡水平的变化趋势。本研究也有一定的局限性:仅基于脑卒中死亡数据开展分析,未纳入发病数据,同时灰色GM(1,1)模型无法精确反映自然因素、社会因素、环境因素等对脑卒中死亡的影响。在后续的应用研究中,将结合脑卒中发病数据,反复修正模型,以期获得更精准的预测结果,更好地利用预测数据指导区域脑卒中防治工作。

作者贡献声明 陈林利 数据采集,统计分析,论文撰写和修订。轩水丽 数据采集,统计分析。倪静宜,郭佳旗,刘薇 数据采集和审核,质量控制。许慧琳 论文修订和指导。周毅彬 统计分析指导,论文修订和指导。

利益冲突声明 所有作者均声明不存在利益冲突。

参 考 文 献

- [1] 从祥丰. 中国11省队列人群脑卒中及其亚型发病状况及影响因素研究[D]. 北京:中国疾病预防控制中心,2021.
- [2] 国家卫生健康委员会. 2022中国卫生健康统计提要[M]. 北京:中国协和医科大学出版社,2022.
- [3] 张亚慧,张荣,贾素红,等. 灰色模型GM(1,1)和残差自回归模型在中国孕产妇死亡率预测中的应用[J]. 中国妇幼保健,2023,38(10):1747-1752.
- [4] 王薇,程珺霞,颜流,等. 2015—2019年中国10个监测点人群脑卒中发病情况分析[J]. 现代预防医学,2022,49(24):4524-4527.
- [5] KIM HJ, FAY MP, FEUER EJ, *et al.* Permutation tests for joinpoint regression with applications to cancer rates[J]. *Stat Med*, 2000, 19(3):335-351.
- [6] 鲍晓露,向国春,史卢少博,等. 基于灰色GM(1,1)-SVM组合模型的广东省卫生总费用预测研究[J]. 现代预防医学,2022,49(5):856-859.
- [7] 张彬,张龙秀,王瑞,等. 基于GM(1,1)和ARIMA模型的安徽省孕产妇及儿童死亡率的预测研究[J]. 中国妇幼卫生杂志,2023,14(1):1-6.
- [8] 曾丹. 灰色预测模型的数据处理技术及其应用研究[D]. 南充:西华师范大学,2019.
- [9] CEYLAN Z, BULKAN S, ELEVLİ S. Prediction of medical waste generation using SVR, GM(1,1) and ARIMA models: a case study for megacity Istanbul[J]. *J Environ Health Sci Eng*, 2020, 18(2):687-697.
- [10] 刘丽彬,陈小燕. 基于灰色GM(1,1)模型对我国糖尿病患者死亡趋势预测[J]. 预防医学情报杂志,2021,37(1):130-135.
- [11] 《中国脑卒中防治报告2020》编写组. 《中国脑卒中防治报告2020》概要[J]. 中国脑血管病杂志,2022,19(2):136-144.
- [12] 丁贤彬,焦艳,毛德强,等. 重庆市脑卒中发病死亡流行特征分析[J]. 公共卫生与预防医学,2021,32(6):20-23.
- [13] 刘冰,张艳,徐珏,等. 2014—2020年杭州市居民脑卒中发病及死亡变化趋势分析[J]. 中国预防医学杂志,2023,24(7):726-731.

(下转第930页)

- kidney function and kidney failure in chronic kidney disease patients: the GCKD study [J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2022,38(6):1430-1438.
- [13] 陈飞,罗惠民,谢瑜等.姜黄素通过调控 miR-29-3p 和 TLR4/NF- κ B 信号通路改善肾间质纤维化[J].甘肃科学学报,2022,34(5):26-34.
- [14] SINHA SK, MELLODY M, CARPIO MB, *et al*. Osteopontin as a biomarker in chronic kidney disease [J]. *Biomedicines*, 2023,11(5):1356.
- [15] FU J, AKAT K M, SUN Z, *et al*. Single-cell RNA profiling of glomerular cells shows dynamic changes in experimental diabetic kidney disease [J]. *J Am Soc Nephrol*, 2019,30(4):533-545.
- [16] LAGIES S, PICHLER R, BORK T, *et al*. Impact of diabetic stress conditions on renal cell metabolome [J]. *Cells*, 2019,8(10):1141.
- [17] LIU Y, HE M, XIONG H, *et al*. Induction of pyroptosis in renal tubular epithelial cells using high glucose [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2022,9:874916.
- [18] LIU Q, YUAN W, YAN Y, *et al*. Identification of a novel small-molecule inhibitor of miR-29b attenuates muscle atrophy [J]. *Mol Ther Nucleic Acids*, 2023,31:527-540.
- [19] CHEN S, ZHANG M, LI J, *et al*. β -catenin-controlled tubular cell-derived exosomes play a key role in fibroblast activation via the OPN-CD44 axis [J]. *J Extracell Vesicles*, 2022,11(3):e12203.
- [20] SUN Y, ZHOU Y, SHI Y, *et al*. Expression of miRNA-29 in pancreatic β cells promotes inflammation and diabetes via TRAF3 [J]. *Cell Rep*, 2021,34(1):108576.
- (收稿日期:2023-07-20; 编辑:段佳)

(上接第 920 页)

- [14] 孟海英,姜晓红,宋娟,等.2012—2021年北京市朝阳区居民脑卒中死亡特征及趋势分析[J].预防医学情报杂志,2023,39(6):635-640.
- [15] 覃心如,邹伟,王穆.中国居民1990—2019年缺血性脑卒中发病和死亡趋势年龄-时期-队列分析[J].中国公共卫生,2023,39(8):1024-1031.
- [16] JIANG B, WANG WZ, CHEN H, *et al*. Incidence and trends of stroke and its subtypes in China: results from three large cities [J]. *Stroke*, 2006,37(1):63-68.
- [17] JIANG G, LI W, WANG D, *et al*. Epidemiological transition and distribution of stroke incidence in Tianjin, China, 1988-2010 [J]. *Public Health*, 2016,131(2):11-19.
- [18] 《中国脑卒中防治报告2019》编写组.《中国脑卒中防治报告2019》概要[J].中国脑血管病杂志,2020,17(5):272-281.
- [19] 孙晓东,贺瑛福.雌激素的脑保护作用及研究进展[J].中西医结合心血管病电子杂志,2020,8(34):35-43.
- [20] 饶蓁蓁,傅晏红,李若瞳,等.2030年我国常见危险因素所致心脑血管疾病死亡和早死概率预测研究[J].中华预防医学杂志,2022,56(5):567-573.
- (收稿日期:2023-12-06; 编辑:段佳)