

## • 卫生管理 •

## 基于 2 种模型的终末期肾脏病直接经济负担预测分析\*

武丹<sup>1</sup>, 陈波<sup>2△</sup>, 陈静<sup>2</sup>, 霍长亮<sup>2</sup>, 陈李豪<sup>1</sup>

(1. 南京医科大学康达学院医学信息工程学部, 江苏连云港 222000; 2. 南京中医药大学附属连云港医院肾内科, 江苏连云港 222000)

**【摘要】** 目的 对血液透析(HD)、腹膜透析(PD)的终末期肾脏病进行直接经济负担预测分析。方法 用 2012—2022 年 HD、PD 患者例数分别乘相应年均直接经济负担作为 2 种透析方式 2012—2022 年的经济负担, 以此为初始时间序列, 建立灰色预测 GM(1,1)、Holt 线性指数平滑模型, 预测 2023—2027 年 2 种透析方式的直接经济负担的动态发展趋势。结果 HD、PD 患者 2023—2027 年的直接经济负担均呈增长趋势, HD、PD 直接经济负担平均增长率分别为 7.17%、7.37%。2 种模型均能很好地进行预测, 平均误差率为 4.234%, 预测效果良好。预计到 2025 年透析患者的直接经济负担将突破 1 000 亿。结论 透析患者的直接经济负担较重, 是一大公共卫生挑战。应加强慢性肾病的宣传教育, 做好预防工作, 减少透析患者的增长。同时, 可适当提高 PD 的报销比例, 对部分地区试行“腹透优先”政策, 向医护人员普及宣传 PD 知识, 鼓励更多的患者选择 PD。

**【关键词】** 终末期肾脏病; 直接经济负担; 灰色预测 GM(1,1)模型; Holt 线性指数平滑模型

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2024.17.036

中图分类号:R692;R459.5

文章编号:1009-5519(2024)17-3045-04

文献标识码:C

终末期肾脏病(ESRD)是各种慢性肾脏疾病的终末阶段,发病率逐年上升,预计到 2025 年,我国 ESRD 年发病率和患病率将分别达到 0.025%、0.150%<sup>[1]</sup>。据发表于《Lancet》的流行病学调查结果显示,慢性肾脏病在中国发病率超过 10.80%,而 ESRD 发病率为 0.03%<sup>[2]</sup>。根据全国血液净化病例信息登记系统统计数据显示,截至 2022 年 12 月底,全国登记的在透患者中血液透析(HD)844 265 例,腹膜透析(PD)140 544 例,同比上年分别新增 156 645、20 800 例。随着透析患者例数的逐年增加,ESRD 经济支出是相当巨大的,无论是对国家的医疗卫生事业还是对患者本人经济负担均是沉重的。本研究对 HD、PD 的 ESRD 进行了直接经济负担预测分析,现报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 数据来源** 2012—2022 年 HD、PD 患者数据来源于全国血液净化病例信息登记系统。患者年人均费用来源于《中国肾脏病科学报告》。

## 1.2 方法

**1.2.1 直接经济负担计算方法** 每年 HD 直接经济负担=每年 HD 患者例数×HD 年人均费用。每年 PD 直接经济负担=每年 PD 患者例数×PD 年人均费用。

## 1.2.2 预测模型构建

**1.2.2.1 GM(1,1)模型** 灰色预测模型是以部分已知的信息和未知的小样本、贫信息不确定性作为研究对象的一种应用广泛的预测方法<sup>[3]</sup>。GM(1,1)模型是最基本的模型,因其具有所需样本数据少、概率分布限制小、计算简便、预测精度高等特点被广泛应用<sup>[4]</sup>。主要步骤<sup>[5]</sup>:(1)构建累加生成数列;(2)计算均值序列;(3)建立白化微分方程,构建 GM(1,1)模型;(4)计算后验差比值(C 值)和小误差概率(P 值)进行拟合效果检验;(5)计算预测数据。模型的效果用 C、P 值判断。最后以模型精度达到 1 级或 2 级的 GM(1,1)模型进行预测分析<sup>[6-7]</sup>。

**1.2.2.2 指数平滑模型** 指数平滑模型分为非季节性模型和季节性模型<sup>[8]</sup>。主要步骤:(1)模型构建,逐一应用简单非季节性模型、Holt 线性趋势模型、Brown 线性趋势模型、阻尼趋势模型、简单季节性模型、Winter 相加模型和 Winter 相乘模型。通过不同参数值进行拟合,计算稳定系数( $R^2$ ),选出标准化贝叶斯信息准则值、均方误差平方根(RMSE)、平均绝对误差(MAE)、MAE 百分比(MAPE)最小的模型为最优模型<sup>[9]</sup>。采用 Ljung-Box 进行残差序列白噪声检验,若统计量差异无统计学意义表示残差为白噪声。

**1.3 统计学处理** 以 2012—2022 年透析负担作为初始时间序列,基于灰色预测模型及指数平滑模型理

\* 基金项目:江苏省连云港市重点研发计划(社会发展)项目(SF2211);江苏省教育厅高校哲学社会科学一般项目(KD202122JYTZS06)。

△ 通信作者, E-mail:272699691@qq.com。

论,运用 SPSS23.0 统计软件建立 GM(1,1)、Holt 线性指数平滑模型,对我国 2023—2027 年 HD、PD 患者透析负担进行预测分析,并对 2 种模型误差进行对照分析。

## 2 结果

**2.1 ESRD 直接经济负担情况** HD、PD 患者年人均费用分别为 87 125、73 266 元。2012—2022 年

HD、PD 患者直接经济负担均逐年增加,HD、PD 直接经济负担增幅分别为 240.42%、283.93%,其平均增长率分别为 7.17%、7.37%,总费用超出百亿元。HD、PD 直接经济负担平均占比分别为 88.05%、11.95%。总费用占每年政府卫生支出的 2%~4%,给社会医疗保险系统带来了极其沉重的负担。见表 1。

表 1 ESRD 直接经济负担情况

年份	n		直接经济负担(亿元)			每年政府卫生支出 (亿元)	总费用占每年政府 卫生支出构成(%)
	HD	PD	HD	PD	总负担		
2012 年	248 016	36 605	216.08	26.82	242.90	8 431.98	2.88
2013 年	283 581	44 386	247.07	32.52	279.59	9 545.81	2.93
2014 年	339 748	53 211	296.00	38.99	334.99	10 579.23	3.17
2015 年	385 055	61 583	335.48	45.12	380.60	12 475.28	3.05
2016 年	447 435	72 149	389.83	52.86	442.69	13 910.31	3.18
2017 年	524 467	86 865	456.94	63.64	520.58	15 205.87	3.42
2018 年	579 381	94 896	504.79	69.53	574.32	16 399.13	3.50
2019 年	632 653	103 348	551.20	75.72	626.92	18 016.95	3.48
2020 年	692 736	114 023	603.55	83.54	687.09	21 941.90	3.13
2021 年	751 098	126 372	654.39	92.59	746.98	20 676.06	3.61
2022 年	844 265	140 544	735.57	102.97	838.54	24 040.89	3.49

**2.2 基于灰色预测 GM(1,1)模型的经济负担预测效果** HD、PD 序列原始数据未通过级比检验,故进行平移转换,即在原始值基础上分别加入平移转换值 736.00、103.00,最终平移转换后的数据级比检验值

均在标准范围区间(0.846~1.181)内,适合进行 GM(1,1)模型构建。2 个指标的 C 值均小于 0.35,即预测精度均为 1 级,模型拟合效果优秀,预测结果具有科学性和合理性。见表 2 和图 1、2。

表 2 GM(1,1)模型及检验结果

指标	GM(1,1)模型	C 值	P 值	精度等级
HD 直接经济负担	$x_t^{(1)} = 21\ 282.014e^{0.043\ 9t} - 21\ 065.934$	0.002 1	1.000	1 级
PD 直接经济负担	$x_t^{(1)} = 2\ 794.258e^{0.045\ 9t} - 2\ 767.438$	0.002 5	1.000	1 级

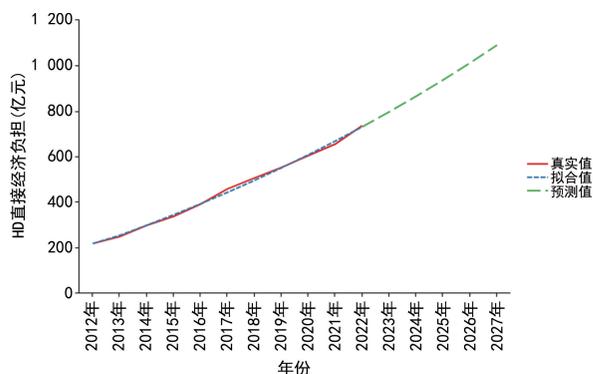


图 1 HD 直接经济负担 GM(1,1)模型拟合和预测

**2.3 基于 Holt 线性指数平滑模型的经济负担预测效果** 随着时间的增加,HD、PD 直接经济负担均呈线性增长趋势,无周期性。HD 直接经济负担序列  $R^2$  为 0.994、PD 直接经济负担序列  $R^2$  为 0.995,预测结

果显示,HD 直接经济负担预测模型的平滑系数  $\alpha = 0.199$ ,趋势系数  $\gamma = 1.100E-5$ ;而 PD 直接经济负担预测模型的平滑系数  $\alpha = 1.000$ ,趋势系数  $\gamma = 0.001$ ,具体拟合结果见图 3、4。

**2.4 2 种模型误差比较** 使用 GM(1,1)、Holt 线性指数平滑模型对 HD、PD 直接经济负担进行预测后,MAPE、MAE、RMSE 3 个评价指标的预测误差均不高,预测效果均很好,平均误差率为 4.234%。GM(1,1)模型误差率低于 Holt 线性指数平滑模型,对 HD、PD 直接经济负担进行预测发现,GM(1,1)模型优于 Holt 线性指数平滑模型,且 PD 直接经济负担预测误差率相对较低,预测效果较好。见表 3。

**2.5 2 种模型预测结果** 预计到 2025 年,透析患者的直接经济负担将突破 1 000 亿。见表 4。

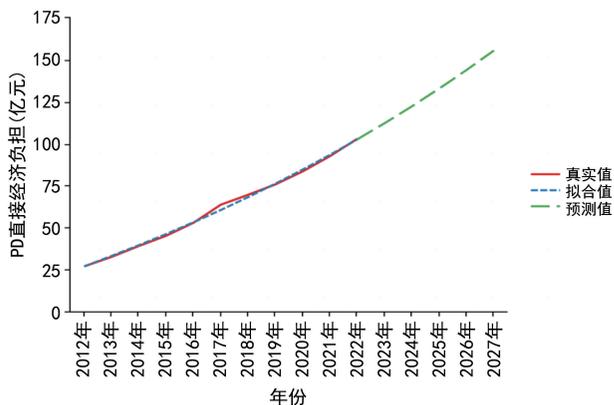


图 2 PD 直接经济负担 GM(1,1)模型拟合和预测

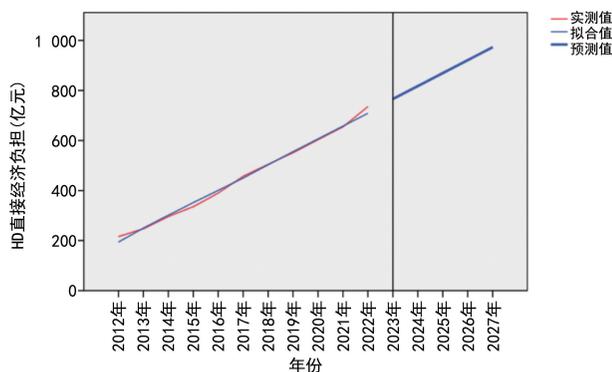


图 3 HD 直接经济负担 Holt 线性指数平滑模型拟合和预测

表 3 2 种模型误差比较

项目	MAPE(%)		MAE		RMSE	
	GM(1,1)模型	Holt 线性指数平滑模型	GM(1,1)模型	Holt 线性指数平滑模型	GM(1,1)模型	Holt 线性指数平滑模型
HD 直接经济负担	1.360	2.550	6.307	9.352	7.973	13.830
PD 直接经济负担	1.580	2.361	0.956	1.400	1.252	1.886

表 4 2 种模型预测结果

年份	HD 直接经济负担(亿元)		PD 直接经济负担(亿元)	
	GM(1,1)模型	Holt 线性指数平滑模型	GM(1,1)模型	Holt 线性指数平滑模型
2023 年	796.193	765.82	112.253	110.53
2024 年	864.905	817.60	122.355	118.10
2025 年	936.699	869.38	132.930	125.66
2026 年	1 011.713	921.16	144.002	133.22
2027 年	1 090.091	972.94	155.594	140.78

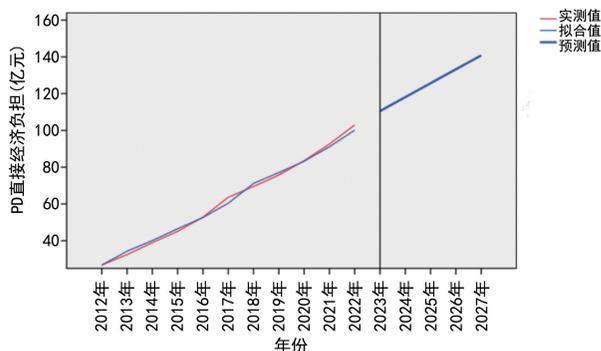


图 4 PD 直接经济负担 Holt 线性指数平滑模型拟合和预测

### 3 讨论

本研究采用 GM(1,1)、Holt 线性指数平滑模型对 HD、PD 直接经济负担进行了预测,结果显示,在 GM(1,1)模型中,HD 直接经济负担预测模型的 C 值为 0.002 1,P 值为 1.000,精确等级为 1 级,预测效果优秀;PD 直接经济负担模型的 C 值为 0.002 5,P 值为 1.000,精确等级为 1 级,预测效果优秀,模型构建具有科学性和合理性。在 Holt 线性指数平滑模型

中,HD 直接经济负担预测模型的平滑系数  $\alpha = 0.199$ ,趋势系数  $\gamma = 1.100E-5$ ,参数值介于 0~1 之间;PD 直接经济负担预测模型的平滑系数  $\alpha = 1.000$ ,趋势系数  $\gamma = 0.001$ ,参数值介于 0~1 之间,模型具有一定的科学性和合理性。

本研究结果显示,预计到 2025 年,透析患者的直接经济负担将突破 1 000 亿,是一大公共卫生挑战。而从 2 种透析方式看,PD 的直接经济负担比 HD 低,且 PD 具有居家透析、可保护残余肾功能、缓解紧张的医疗资源等优点。因此,从降低费用和合理使用医保基金的角度出发,PD 是一种更为经济、有效且有益于患者生命质量的治疗手段。但在很多地区由于社会经济状态、教育水平、培训、PD 教育、质控系统等原因,患者选择 PD 受限。从全国各省份的质控数据来看,北上广、江浙沪等地区的 PD 占比较高。

从卫生经济学的角度来看,可以有很多完善的方法来减轻透析带来的经济负担,如加强慢性肾病的宣传教育、做好预防工作、增强患者自我防范意识、在一定程度上减少 ESRD 患者例数的过快增长等;依托互

联网提升医疗资源的“纵横网状流动”<sup>[10]</sup>,整合各医疗机构资源,提高治疗与管理效率,减少患者的间接医疗费用的支出;适当提高 PD 报销比例<sup>[11]</sup>,对部分地区试行“腹透优先”政策,向医护人员普及宣传 PD 知识,鼓励更多的患者选择 PD。本研究尚具有一定的局限性,未考虑间接成本,如生产力损失、与护理人员相关的成本等。

## 参考文献

- [1] SUN L, ZOU L X, HAN Y C, et al. Forecast of the incidence, prevalence and burden of end-stage renal disease in Nanjing, China to the Year 2025[J]. BMC Nephrol, 2016, 17(1):60.
- [2] ZHANG L X, WANG F, WANG L, et al. Prevalence of chronic kidney disease in China: A cross-sectional survey [J]. Lancet, 2012, 379(9818):815-822.
- [3] WEI W D, WANG G, TAO X, et al. Time series prediction for the epidemic trends of monkey-pox using the ARIMA, exponential smoothing, GM (1, 1) and LSTM deep learning methods [J]. J Gen Virol, 2023, 104(4):1-10.
- [4] 梁冰华, 黄李凤. 基于 GM(1,1)灰色预测模型的中国医疗卫生资源预测分析[J]. 现代预防医学,

2021, 48(20):3655-3659.

- [5] 文静, 殷成宇, 廖国伟, 等. 应用 GM(1,1)灰色模型预测全国甲状腺癌发病趋势[J]. 现代肿瘤医学, 2022, 30(5):899-902.
- [6] 刘思峰, 郭天榜. 灰色系统理论及其应用[M]. 9版. 开封:河南大学出版社, 1991:1-387.
- [7] 颜康康, 林雪君, 鲍红红, 等. 灰色 GM(1,1)模型在艾滋病、淋病、梅毒发病率预测研究中的应用[J]. 实用预防医学, 2015, 22(3):371-374.
- [8] 万源, 孔德广, 罗俊. 武汉市手足口病发病预测中 3 种时间序列模型比较研究[J]. 职业与健康, 2021, 37(22):3098-3101.
- [9] 严婧, 杨北方. 指数平滑法与 ARIMA 模型在湖北省丙型肝炎病毒性肝炎发病预测中的应用[J]. 中国疫苗和免疫, 2017, 23(3):292-297.
- [10] 张蕾, 崔牛牛, 陈佳鹏. 中国农村贫困人口重点疾病直接经济负担研究[J]. 社会科学文摘, 2022(5):100-102.
- [11] 张叶, 杨莉. 美国腹膜透析激励政策的经验及对我国的启示[J]. 中国卫生政策研究, 2022, 15(4):52-58.

(收稿日期:2024-01-16 修回日期:2024-05-28)

(上接第 3036 页)

- [33] DENT E, HANLON P, SIM M, et al. Recent developments in frailty identification, management, risk factors and prevention: A narrative review of leading journals in geriatrics and gerontology[J]. Ageing Res Rev, 2023, 91:102082.
- [34] RODRÍGUEZ-MAÑAS L, RODRIGUEZ-SÁNCHEZ I. Research on frailty: Where we stand and where we need to go[J]. J Am Med Dir Assoc, 2021, 22(3):520-523.
- [35] TRAVERS J, ROMERO-ORTUNO R, BAILEY J, et al. Delaying and reversing frailty: A systematic review of primary care interventions[J]. Br J Gen Pract, 2019, 69(678):e61-e69.
- [36] DENT E, MARTIN F C, BERGMAN H, et al. Management of frailty: Opportunities, challenges, and future directions[J]. Lancet, 2019, 394(10206):1376-1386.
- [37] HOOGENDIJK E O, AFILALO J, ENSRUD K E, et al. Frailty: Implications for clinical practice and public health [J]. Lancet, 2019, 394(10206):1365-1375.

- [38] RODRIGUEZ-MAÑAS L, FRIED L P. Frailty in the clinical scenario [J]. Lancet, 2015, 385(9968):e7-e9.
- [39] 杨锦竹, 何凌骁, 方亚. 老年衰弱生物标志物研究进展[J]. 中国公共卫生, 2023, 39(8):1073-1077.
- [40] 李可欣, 吕静, 于冰, 等. 老年衰弱新兴标志物的研究进展及展望[J]. 中国全科医学, 2021, 24(36):4580-4586.
- [41] KANE A E, SINCLAIR D A. Frailty biomarkers in humans and rodents: Current approaches and future advances [J]. Mech Ageing Dev, 2019, 180:117-128.
- [42] JANISZEWSKA J, OSTROWSKA J, SZOSTAK-WEGIEREK D. The influence of nutrition on adiponectin: A narrative review [J]. Nutrients, 2021, 13(5):1394.
- [43] 朱文华, 陈丽英, 张佳, 等. 基于脂联素及脂联素受体的代谢综合征干预通路的研究进展[J]. 全科医学临床与教育, 2020, 18(12):1110-1113.

(收稿日期:2024-04-24 修回日期:2024-07-02)