

基于ARIMA模型的临床红细胞需求预测研究



杨旭¹, 刘舒琦², 黄慧³, 陈秀兰⁴, 楼依玲⁵, 曹世义⁵, 蒋青青^{5, 6}

1. 芜湖市中心血站办公室 (安徽芜湖 241000)
2. 皖南医学院检验学院 (安徽芜湖 241002)
3. 芜湖市中心血站检验科 (安徽芜湖 241000)
4. 芜湖市中心血站成分科 (安徽芜湖 241000)
5. 华中科技大学同济医学院公共卫生学院 (湖北武汉 430030)
6. 华中科技大学同济医学院护理学院 (湖北武汉 430030)

【摘要】目的 构建芜湖市红细胞临床需求的 ARIMA 乘积季节预测模型, 为采血机构制定红细胞采供平衡方案及招募计划提供科学依据。**方法** 基于芜湖市中心血站 2012 年 1 月至 2021 年 12 月红细胞的临床用量构建 ARIMA 模型。通过时间序列平稳化处理、模型识别和参数检验, 确定最优模型后对 2022 年 1 至 8 月的红细胞临床用量需求进行预测, 并利用实际值检验预测效果。**结果** 最优模型为 $ARIMA(0, 1, 0)(1, 1, 0)_{12}$, $BIC=12.162$, 残差序列的 ACF 和 PACF 均基本落在 95%CI 内, $Ljung-Box Q=15.265$, $P=0.576 > 0.05$, 符合白噪声序列, 模型拟合通过检验。2022 年 1 至 8 月实际值除 4 月和 5 月外均在预测值 95%CI 内, ARIMA 模型预测值与实际值的平均相对误差为 -0.003 75, 平均绝对百分比误差为 7.087%, 模型预测效果良好。**结论** $ARIMA(0, 1, 0)(1, 1, 0)_{12}$ 可用于预测红细胞临床用量需求, 为血液采集、无偿献血招募及库存管理提供参考。

【关键词】 红细胞; ARIMA 乘积季节模型; 需求预测; 卫生管理

【中图分类号】 R197.6; R457.1 **【文献标识码】** A

Prediction and analysis of red blood cells clinical demand based on the ARIMA model

YANG Xu¹, LIU Shuqi², HUANG Hui³, CHEN Xiulan⁴, LOU Yiling⁵, CAO Shiyi⁵, JIANG Qingqing^{5,6}

1. Office of Wuhu City Central Blood Station, Wuhu 241000, Anhui province, China
2. School of Laboratory Medicine, Wannan Medical College, Wuhu 241002, Anhui province, China
3. Departments of Laboratory, Wuhu City Central Blood Station, Wuhu 241000, Anhui province, China
4. Departments of Component, Wuhu City Central Blood Station, Wuhu 241000, Anhui province, China
5. School of Public Health, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China
6. School of Nursing, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

Corresponding author: JIANG Qingqing, Email: 15084450940@163.com

【Abstract】Objective To construct an ARIMA multiplicative seasonal model suitable for predicting the clinical demand of red blood cells in Wuhu City, and provide a scientific basis

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202412034

基金项目: 芜湖市科技计划项目 (2024kj102); 芜湖市卫生健康委科研项目 (WHWJ2021y108)

通信作者: 蒋青青, 博士, Email: 15084450940@163.com

for blood collection organizations to formulate red blood cell collection and supply balance programs and recruitment plans. **Methods** The ARIMA model was constructed based on the clinical use of red blood cells in Wuhu City Central Blood Station from January 2012 to December 2021. The data were processed through time series stabilization, model identification, and parameter verification to determine the optimal model. The red blood cell clinical use demand from January 2022 to August 2022 was predicted using the optimal model, and the prediction effect was verified using actual values. **Results** The optimal model was ARIMA (0,1,0) (1,1,0)₁₂, with BIC=12.162. The ACF and PACF of the residual sequence were basically within the 95% confidence interval, and the Ljung-Box Q value was 15.265, with $P=0.576>0.05$, which met the requirements of white noise sequence, and the model fitting was validated. Except for April and May, the actual values of each month were within the 95% confidence interval of the predicted value, and the average relative error between the ARIMA model prediction value and the actual value was -0.00375, and the mean absolute percentage error (MAPE) was 7.087%, with good prediction effect. **Conclusion** The ARIMA (0,1,0) (1,1,0)₁₂ model can be used to predict the clinical demand of red blood cells, and it can provide a reference for blood collection, non-remunerated blood donation recruitment and inventory management.

【Keywords】 Red blood cell; ARIMA multiplicative seasonal model; Demand forecasting; Health management

输血是临床常用的辅助治疗方法,在遭遇创伤、产后大量失血、实施手术,以及开展血液病相关治疗时,输血是必不可少治疗手段之一。现阶段,血液资源的获取仅能依靠健康个体自愿无偿捐献,尚无其他等效供应方式。据国家卫生健康委统计数据^[1]显示,近二十年我国无偿献血的参与人次及献血总量呈上升态势;我国每千人口献血率由 1998 年的 4.8‰ 大幅跃升至 2023 年的 12.2‰,已超出世界卫生组织建议的 10‰ 标准线。然而,考虑到我国庞大的人口基数,参与无偿献血的人群占比依旧有限,血液资源稀缺的状况依旧不容小觑。

红细胞是人体血液中含有最高的血细胞类型,具有运输氧气和二氧化碳的功能。红细胞输注是患者治疗甚至挽救生命的重要手段之一,为避免红细胞制品的资源浪费和供应不足,制定有效的红细胞采供平衡计划,科学合理地估测红细胞制品的使用量尤为重要^[2-3]。国务院办公厅印发的《“十四五”国民健康规划》将提升血液供应保障能力作为加快补齐医疗服务短板的重要方向。目前芜湖市临床红细胞用量需求预测主要依赖血站工作人员的经验估算,科学性和准确性存在较大局限。ARIMA (autoregressive integrated moving average) 模型又称差分自回归移动平均模型,是由 George Box 和 Gwilym Jenkins 于上世纪 70 年代初提出的著名时间序列预测方法,已

被广泛应用于疾病发展趋势或发展情况^[4-6]、传染病^[7-8]、金融和经济^[9-10]等方面的预测,且具有良好的预测效果。基于此,本研究拟运用 ARIMA 模型对芜湖市红细胞临床用量进行预测模型构建并检验模型预测效果,以期在全面了解临床血液用量的基础上,实现血液资源的整合与合理调配,科学指导血液的采集和供应。

1 资料与方法

1.1 数据来源

获取芜湖市中心血站 2012 年 1 月至 2022 年 8 月红细胞出库记录,以月为单位进行整理统计,未涉及献血者隐私和身份信息,豁免伦理审查。临床红细胞用量以单位 (U) 计算,1 U 红细胞类成分血由 200 mL 全血分离制备。以 2012 年 1 月至 2021 年 12 月数据作为训练集,2022 年 1 月至 2022 年 8 月数据作为测试集。

1.2 ARIMA 模型构建

模型公式为 SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)_s, 其中 p、d、q 分别表示时间序列的自回归阶数、差分阶数和移动平均阶数, P、D、Q 分别表示季节自回归阶数、季节差分阶数、季节移动平均阶数, s 表示周期。

模型建立过程包括以下四个步骤:①时间序列平稳化检验和处理:使用训练集数据绘制原始时间序列图,观察数据是否有明显趋势变

化,应用单位根检验(augmented dickey–fuller test, ADF),若 $P < 0.05$,表示原始数据为平稳序列可直接进行下一步;若 $P > 0.05$,表示原始数据为非平稳序列,需通过差分或季节差分实现平稳化。②模型识别:通过自相关函数(autocorrelation function, ACF)和偏自相关函数(partial autocorrelation function, PACF)识别适合数据的模型(表1),并推断 p, q, P, Q 的阶数, d, D 为使非平稳序列转化为平稳序列所做的差分次数。③参数检验和模型优化:利用推断出的参数确定待检测模型;根据Ljung–Box Q检验对模型残差进行白噪声检验,若 $P > 0.05$,表示为白噪声序列,模型建立有效,若 $P < 0.05$,表示为非白噪声序列,应舍弃;根据贝叶斯信息准则(Bayesian information criterion, BIC),在通过白噪声检验的诸多备选模型中选取BIC最小的模型为最优模型。④模型运用与评估:运用选择的最优模型预测测试集数据获得预测值,观察实际值在预测值95%置信区间(confidence interval, CI)的分布情况,计算相对误差、均方根误差(root mean square error, RMSE)、平均绝对百分比误差(mean absolute percentage error, MAPE)和平均绝对误差(mean absolute error, MAE),误差越小,模型拟合效果越好。

1.3 统计学分析

应用SPSS 26.0软件进行统计分析。2012年

表1 SARIMA模型识别释义

Table 1. Explanation of the SARIMA model recognition

模型	ACF	PACF
$AR(p)$	拖尾	p 阶后截尾
$MA(q)$	q 阶后截尾	拖尾
$ARMA(p,q)$	q 阶后拖尾	p 阶后拖尾

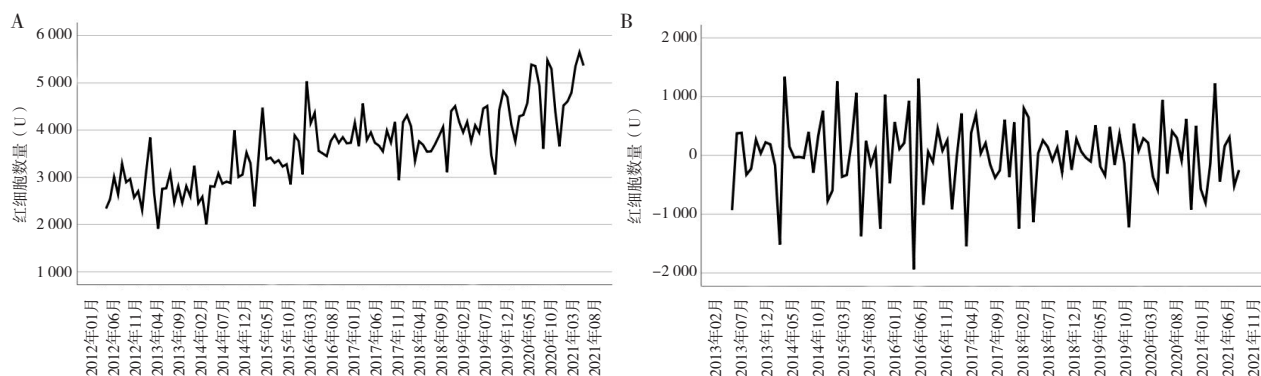


图1 2012—2021年红细胞临床用量时间序列图

Figure 1. Time series plot of clinical usage of red blood cells from 2012 to 2021

注: A.原始时间序列图; B.差分和周期调整后序列图。

1月至2021年12月的红细胞临床用量数据用于ARIMA模型构建,2022年1月至2022年8月的数据用于验证模型的预测效果。利用SPSSPRO系统进行ADF检验,检验水准为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 时间序列平稳化处理

基于训练集数据建立原始时间序列图(图1-A),红细胞临床用量整体呈上升趋势,每年均出现上下波动情况,高峰时期集中在3至5月、7月、11至12月,低峰时期集中在1至2月、6月、8至10月,呈现明显的季节周期变化和双峰分布。经ADF检验,原始时间序列($t=0.783, P=0.991$)为非平稳序列,为消除原始数列趋势和季节性周期变化带来的影响,本研究进行了差分处理。经时间序列平稳化处理和ADF检验,显示处理后的红细胞临床用量序列($t=-3.3, P=0.015$)为相对平稳的序列(图1-B)。

2.2 模型识别和参数确定

因原始时间序列有季节性周期性,经1次季节差分和非季节差分后数据趋于平稳,结合差分后平稳序列的ACF图和PACF图可知,两者均拖尾。根据模型确定条件可知,可建立季节性ARIMA模型SARIMA(p, d, q)(P, D, Q) s ,其中 $d=1, D=1$;研究数据为月度序列且观测到以年为单位的周期性波动,故 $s=12$ 。观察ACF图(图2-A)和PACF图(图2-B), p, q 值均从0、1、2中选取;而参数 P 和 Q 较难判断,取值通常为0~2,从低阶到高阶逐步尝试,由此建立待选模型。

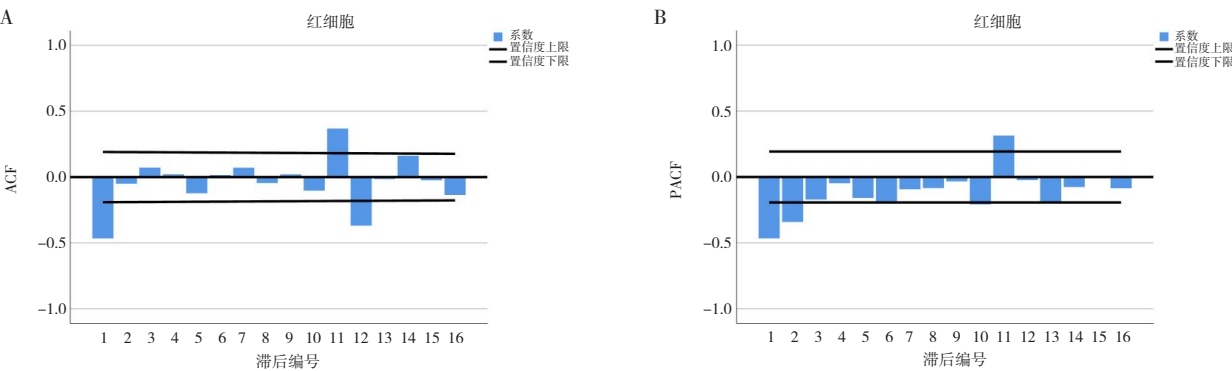


图2 原始序列一阶差分和一阶季节差分后模型识别图

Figure 2. Plot of the original series after first-order difference and first-order seasonal difference
注：A.ACF图；B.PACF图。

2.3 模型检验与优化

根据 Ljung-Box Q 方法、残差序列的 ACF 图和 PACF 图进行白噪声检验，从备选模型中选取 BIC 最小者，最终选取模型 ARIMA (0, 1, 0) (1, 1, 0)₁₂, BIC=12.162, R²=0.758, 残差序列的 ACF 和 PACF 均基本落在 95%CI 内。Ljung-Box Q=15.265, P=0.576 > 0.05, 符合白噪声序列。使用 SPSS 26.0 软件中的专家建模器模块进行验证，专家建模器推荐模型 ARIMA (0, 1, 1) (0, 1, 1)₁₂, BIC=12.282, R²=0.515。两者相比，前者 BIC、RMSE、MAE 和 MAPE 值均较小，平稳 R² 较大，因此确定最优模型为 ARIMA (0, 1, 0)

(1, 1, 0)₁₂ (表 2、图 3)。

2.4 模型预测与评价

运用筛选的最佳模型 ARIMA (0, 1, 0) (1, 1, 0)₁₂ 预测 2022 年 1 月至 2022 年 8 月的红细胞临床用量，模型拟合结果见图 4，观测值与拟合值曲线趋势基本相同，各月实际值除 4 月和 5 月外均在预测值 95%CI 内，模型拟合情况较好。将预测值与 2022 年 1 至 8 月红细胞临床用量实际值相比，平均相对误差为 -0.003 75，ARIMA 模型预测值与实际值的 MAPE 为 7.087% (10% 以内) (表 3)，表明该模型具有较好的预测拟合性。

表2 备选模型的参数估计和残差白噪声检验

Table 2. Parameter estimation for alternative models and white noise test for residuals

备选模型	平稳R ²	正态化BIC	显著性	RMSE	MAE	MAPE
模型1	0.758	12.162	0.576	329.289	249.994	7.087
模型2	0.515	12.282	0.486	447.454	321.915	9.049

注：模型1为ARIMA (0, 1, 0) (1, 1, 0)₁₂；模型2为ARIMA (0, 1, 1) (0, 1, 1)₁₂。

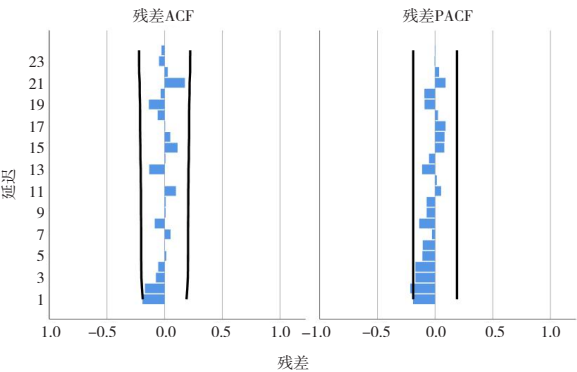


图3 模型残差ACF和PACF图

Figure 3. Plots of the ACF and PACF of model residuals

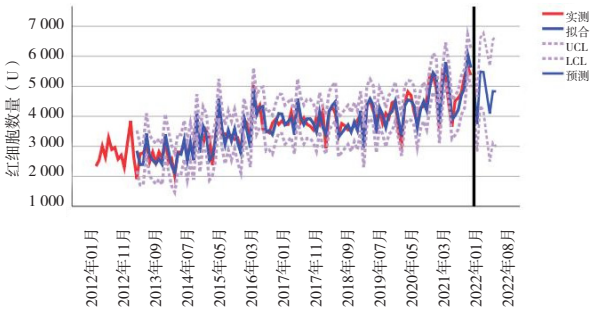


图4 实际值与预测值比较图

Figure 4. Comparison of actual values with projections

表3 2022年1月至2022年8月预测结果
Table 3. January 2022–August 2022 forecast results

时间	实际值	预测值（95%CI）	相对误差
2022年1月	4 794.50	5 042.00（4 392.10, 5 691.80）	5.16
2022年2月	4 471.00	3 735.70（2 816.70, 4 654.70）	-16.45
2022年3月	5 782.00	5 488.50（4 363.00, 6 614.00）	-5.08
2022年4月	3 363.50	5 473.00（4 173.30, 6 772.70）	62.72
2022年5月	6 576.00	4 772.20（3 319.10, 6 225.20）	-27.43
2022年6月	5 269.50	4 089.00（2 497.30, 5 680.80）	-22.40
2022年7月	4 837.50	4 837.90（3 118.60, 6 557.10）	0.00
2022年8月	4 665.50	4 826.50（2 988.50, 6 664.40）	3.45
合计	39 759.50	38 264.80	-0.003 75

3 讨论

红细胞是人体血液的核心组分，是输送氧气、二氧化碳的关键载体。国家卫生健康委印发的《全国血站服务体系建设和发展规划（2021—2025 年）》中，明确要求采供血机构应按照“平急结合、补齐短板”的原则，加强血液应急能力建设，提高血液应急保障能力^[11]。科学预测红细胞临床用量有利于合理规划红细胞采集储存和制定红细胞采供计划，避免血液制品囤积报废或临床用血供应不足。ARIMA 模型数据收集简单、适用性强、预测精确度高，不仅能分析季节及周期性变动，还可反映时间序列的变化规律，易于实际工作应用^[12-13]。既往研究表明，ARIMA 模型有助于科学制定采血计划，指导血液供需平衡，其预测精度及效果优于其他模型^[14-16]。

如东莞市中心血站基于 2006—2011 年临床红细胞用量建立预测模型，对 2012 年前 5 个月的红细胞实际用量进行模型检验，结果显示预测值和实际值拟合效果较好，相对误差较小^[17]。苏州市中心血站基于 2009—2019 年红细胞用量构建 ARIMA 模型，预测 2020 年 1 至 11 月的红细胞临床用量，结果发现预测值与实际值曲线趋势基本相同，相对误差为 8.21%，模型预测效果较好^[18]。儿童患者血容量少、病情转变迅速，输血需求较为急切，还易出现输血不良反应。鉴于此，儿科输血工作较成人输血更为复杂^[19]。杨媛淇等^[15]探讨 ARIMA 模型用于预测儿科悬浮红细胞用量的可行性，发现儿童用血具有明显季节和周期规律，最优模型 ARIMA（0,1,1）（0,1,1）₁₂能较好拟合儿科悬浮红细胞用量的变化趋势，进而为儿童医院临床血液储备计划制定提供依据。

Pereira 等^[20]针对临床红细胞需求量的预测拟合效果，对 ARIMA、Holt – Winters 指数平滑模型、神经网络三种时间序列方法展开了对比分析，结果显示 ARIMA 模型对红细胞短期需求预测的效果最为理想。

本研究采用 ARIMA 模型对芜湖市 2012—2021 年每月红细胞用量进行分析，结果显示，ARIMA（0, 1, 0）（1, 1, 0）₁₂模型拟合效果良好，运用该模型对 2022 年 1 至 8 月每月红细胞需求进行预测，结果发现预测值与实际值变化趋势基本一致。现有研究证实，若 ARIMA 模型预测值与实际值之间平均相对误差 < 10%，说明模型具有较高的预测精准性，预测效果较好^[21-23]。本研究构建的模型数据符合上述标准，其中 ARIMA（0, 1, 0）（1, 1, 0）₁₂模型可用于芜湖地区未来红细胞临床用量预测。

自体输血具有避免经血传播疾病，预防因异体输血产生免疫反应所致的溶血、发热、过敏等，并有刺激红细胞再生，增强患者术后造血功能的作用^[24-25]。为防止资源浪费和免疫反应，临床可结合红细胞临床用量预测结果，采取自体输血的方式缓解用血压力。此外，招募更多的献血志愿者对保障安全充足的血液供应十分必要。陈娟等^[26]基于机器学习算法，对江苏省血液中心 2017—2022 年的献血者进行回顾性研究，建立精准识别模型，对高意愿献血者招募成功率提升 57.79%。基于本研究结果，芜湖市采血机构未来可从采血计划、献血者招募策略和库存管理三个方面优化采供平衡方案。首先，可根据不同季节红细胞需求量动态调整采血计划，确保血液供应的平衡。在需求高峰期（如 3 至 5 月、11 至 12 月）增加采血量，而在需求低谷期（如 1 至 2 月、6 月）

适当减少采血量,避免血液资源的浪费。其次,根据预测结果,采血机构可制定针对性的志愿者招募策略。如在需求高峰期加大宣传力度,提高献血认知水平、强化主观规范,吸引更多献血者参与无偿献血;同时,针对特定群体(如大学生、企事业单位员工)开展定向招募活动,制定激励措施,提高献血者的参与率。再者,血站可优化红细胞制品的库存管理,确保库存量在满足临床需求的同时避免过期浪费,如在需求高峰期提前储备足够的红细胞制品,而在需求低谷期适当减少库存量,确保血液资源的高效利用。

本研究存在一定局限性。首先,ARIMA 模型主要依赖历史数据的趋势和季节性变化,对于突发的外部因素(如公共卫生事件、政策变化等)无法有效捕捉,可能导致预测值与实际值之间存在偏差。其次,模型的预测精度受数据质量和数量的限制,若数据量不足或存在异常值,可能会影响模型的拟合效果。因此,未来研究可考虑结合其他预测模型(如机器学习模型)或引入更多外部变量,以提高预测的准确性。

综上所述,基于 ARIMA 模型建立红细胞临床用量需求预测模型,有助于科学制定采血计划,提高血液供给及需求之间的契合度,使红细胞成分制品既能满足临床需求,又能避免过期浪费。后续研究将进一步深挖影响临床用血需求的各类因素,如人口结构、疾病特性、医疗水准及医院床位数等,同时探究不同时间周期、不同血型和不同年龄段人群的预测可行性及准确性。

伦理声明: 不适用

作者贡献: 研究设计与指导:蒋青青;研究实施、数据收集:杨旭;数据分析、图像处理:刘舒琦;查阅文献、论文撰写:黄慧、陈秀兰;论文修改:楼依玲;论文审定:曹世义

数据获取: 本研究中使用和(或)分析的数据可联系通信作者获取

利益冲突声明: 无

致谢: 不适用

参考文献

1 新华社.我国献血人次创新高,无偿献血激励机制再优化[EB/OL].(2024-06-14)[2025-1-9].https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202406/content_6957279.htm

- 2 谢丽娟,郑敏,陈剑羽.基于 ARIMA 模型的血液制剂使用量时间预测模型的建立与应用[J].现代医药卫生,2020,36(24):4047-4051.[Xie LJ, Zheng M, Chen JY. Establishment and application of time prediction model of blood preparation usage based on ARIMA model[J]. Journal of Modern Medicine & Health, 2020, 36(24): 4047-4051.] DOI: [10.3969/j.issn.1009-5519.2020.24.054](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-5519.2020.24.054).
- 3 周世航,王霓,刘铭,等.贮存时间对红细胞非典型趋化因子受体 1 清除及储存趋化因子的影响[J].中国输血杂志,2022,35(11):1113-1116.[Zhou SH, Wang N, Liu M, et al. Effect of storage time on erythrocyte atypical chemokine receptor 1 clearance and stored chemokines[J]. Chinese Journal of Blood Transfusion, 2022, 35(11): 1113-1116.] DOI: [10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2022.11.005](https://doi.org/10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2022.11.005).
- 4 陆诗阳,李银红,田玉洁,等.基于 ARIMA 模型的地区武装冲突期间埃博拉病毒疫情发展趋势预测[J].军事医学,2023,47(6):417-421,426.[Lu SY, Li YH, Tian YJ, et al. Prediction of Ebola virus disease epidemic trend during regional armed conflict based on ARIMA model[J]. Military Medicine, 2023, 47(6): 417-421, 426.] DOI: [10.7644/j.issn.1674-9960.2023.06.004](https://doi.org/10.7644/j.issn.1674-9960.2023.06.004).
- 5 李平,黄澳迪,包黎明,等.基于 ARIMA 乘积季节模型的中国流行性腮腺炎发病趋势预测分析[J].中国疫苗和免疫,2023,29(2):174-179.[Li P, Huang AD, Bao LM, et al. Predictive analysis of mumps incidence trend in China based on ARIMA product seasonal model[J]. China Vaccine and Immunization, 2023, 29(2): 174-179.] DOI: [10.19914/j.CJVI.2023030](https://doi.org/10.19914/j.CJVI.2023030).
- 6 任飞林,刘小琦,金玫华,等.季节性差分自回归滑动平均模型对肺结核发病情况的预测效果研究[J].中国防痨杂志,2023,45(5):514-519.[Ren FL, Liu XQ, Jin MH, et al. Study on the predictive effect of seasonal differential autoregressive sliding average model on the incidence of tuberculosis[J]. Chinese Journal of Antituberculosis, 2023, 45(5): 514-519.] DOI: [10.19982/j.issn.1000-6621.20220517](https://doi.org/10.19982/j.issn.1000-6621.20220517).
- 7 Song X, Xiao J, Deng J, et al. Time series analysis of influenza incidence in Chinese provinces from 2004 to 2011[J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(26): e3929. DOI: [10.1097/md.0000000000003929](https://doi.org/10.1097/md.0000000000003929).
- 8 Zhou L, Xia J, Yu L, et al. Using a hybrid model to forecast the prevalence of schistosomiasis in humans[J]. Int J Environ Res Public Health, 2016, 13(4): 355. DOI: [10.3390/ijerph13040355](https://doi.org/10.3390/ijerph13040355).
- 9 Omar H, Hoang VH, Liu DR. A hybrid neural network model for sales forecasting based on ARIMA and search popularity of article titles[J]. Comput Intell Neurosci, 2016, 2016: 9656453. DOI: [10.1155/2016/9656453](https://doi.org/10.1155/2016/9656453).
- 10 Qiu MY, Song Y. Predicting the direction of stock market index movement using an optimized artificial neural network model[J]. PLoS One, 2016, 11(5): e0155133. DOI: [10.1371/journal.pone.0155133](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155133).
- 11 国家卫生健康委.国家卫生健康委关于印发《全国血站服务体系发展(2021—2025 年)》的通知[EB/OL].(2021-12-30)[2025-10-20].<https://www.nhc.gov.cn/yzygj/c1000>

- 68/202112/8eaf17478aa84dec892c951763877f90.shtml
- 12 刘芸男, 彭荣荣, 杨冬燕, 等. ARIMA 模型在临床红细胞需求预测中的应用[J]. 安徽医科大学学报, 2019, 54(10): 1611–1615. [Liu YN, Peng RR, Yang DY, et al. Application of ARIMA model in clinical red blood cell demand prediction[J]. Journal of Anhui Medical University, 2019, 54(10): 1611–1615.] DOI: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2019.10.023.
- 13 张永鹏, 席光湘, 洪纓, 等. 时间序列在辐照单采血小板供应管理上的应用分析[J]. 中国输血杂志, 2020, 33(9): 975–977. [Zhang YP, Xi GX, Hong Y, et al. Application analysis of time series in the management of irradiated single platelet supply[J]. Chinese Journal of Blood Transfusion, 2020, 33(9): 975–977.] DOI: 10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2020.09.031.
- 14 刘妍妍, 樊晶. ARIMA 模型在多种成分血拟合供血预测中的研究[J]. 中国输血杂志, 2021, 34(7): 759–763. [Liu YY, Fan J. ARIMA model in blood supply prediction of multi blood components[J]. Chinese Journal of Blood Transfusion, 2021, 34(7): 759–763.] DOI: 10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2021.07.022.
- 15 杨媛淇, 何柏霖, 温普生, 等. ARIMA 模型在儿科红细胞用量预测中的应用[J]. 中国输血杂志, 2023, 36(9): 822–826. [Yang YQ, He BL, Wen PS, et al. Application of ARIMA model in predicting red blood cell dosage in pediatrics[J]. Chinese Journal of Blood Transfusion, 2023, 36(9): 822–826.] DOI: 10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2023.09.016.
- 16 Fanoodi B, Malmir B, Jahantigh FF. Reducing demand uncertainty in the platelet supply chain through artificial neural networks and ARIMA models[J]. Comput Biol Med, 2019, 113: 103415. DOI: 10.1016/j.combiomed.2019.103415.
- 17 叶柱江, 刘赴平. 时间序列自回归移动平均模型在临床红细胞用量预测中的应用[J]. 中国输血杂志, 2013, 26(2): 131–134. [Ye ZJ, Liu FP. Application of autoregressive integrated moving average model in predicting the clinical use of red blood cells[J]. Chinese Journal of Blood Transfusion, 2013, 26(2): 131–134.] DOI: 10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2013.02.038.
- 18 谢淑红, 张思静, 严伟斌, 等. 基于 ARIMA 模型的临床红细胞类血液需求预测研究[J]. 蚌埠医学院学报, 2023, 48(5): 633–636. [Xie SH, Zhang SJ, Yan WB, et al. Research on the prediction of clinical red blood cell blood demand based on the ARIMA model[J]. Journal of Bengbu Medical College, 2023, 48(5): 633–636.] DOI: 10.13898/j.cnki.issn.1000-2200.2023.05.019.
- 19 黄雪原, 黄蓉, 董航, 等. 基于循证医学证据的《儿科输血指南》构建流程——以新生儿溶血病换血治疗的最佳换血量为例[J]. 中国临床新医学, 2022, 15(8): 694–700. [Huang XY, Huang R, Dong H, et al. The construction process of Guideline for Pediatric Transfusion based on evidence-based medicine—taking the optimal exchange transfusion volume for neonatal hemolytic disease as an example[J]. Chinese Journal of New Clinical Medicine, 2022, 15(8): 694–700.] DOI: 10.3969/j.issn.1674-3806.2022.08.05.
- 20 Pereira A. Performance of time-series methods in forecasting the demand for red blood cell transfusion[J]. Transfusion, 2004, 44(5): 739–746. DOI: 10.1111/j.1537-2995.2004.03363.x.
- 21 张雪佩, 周林, 刘敏, 等. ARIMA 乘积季节模型在食源性疾病月发病数预测中的应用[J]. 公共卫生与预防医学, 2024, 35(5): 6–9. [Zhang XP, Zhou L, Liu M, et al. Application of seasonal ARIMA model in predicting the monthly incidence of foodborne diseases[J]. Journal of Public Health and Preventive Medicine, 2024, 35(5): 6–9.] DOI: 10.3969/j.issn.1006-2483.2024.05.002.
- 22 黄国军, 王乐三, 张统宇, 等. 自回归滑动平均混合模型在红细胞供应量预测中的应用[J]. 中国输血杂志, 2016, 29(2): 140–144. [Huang GJ, Wang LS, Zhang TY, et al. Autoregressive integrated moving average model and its application in prediction of red blood cell supply[J]. Chinese Journal of Blood Transfusion, 2016, 29(2): 140–144.] DOI: 10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2016.02.006.
- 23 Wang M, Jiang Z, You M, et al. An autoregressive integrated moving average model for predicting varicella outbreaks – China, 2019[J]. China CDC Wkly, 2023, 5(31): 698–702. DOI: 10.46234/ccdcw2023.134.
- 24 龙小琼, 吴建君, 赵树铭. 三氧自体输血的临床应用进展[J]. 中国输血杂志, 2023, 36(2): 108–111. [Long XQ, Wu JJ, Zhao SM. Progress in clinical application of autologous ozonized blood transfusion[J]. Chinese Journal of Blood Transfusion, 2023, 36(2): 108–111.] DOI: 10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2023.02.004.
- 25 赵娜, 徐铭军. 产科回收式自体输血技术应用进展[J]. 中国临床医生杂志, 2024, 52(3): 265–270. [Zhao N, Xu MJ. Progress in the application of intraoperative autologous blood salvage technology in obstetrics[J]. Chinese Journal for Clinicians, 2024, 52(3): 265–270.] DOI: 10.3969/j.issn.2095-8552.2024.03.004.
- 26 陈娟, 赵作彦, 田金玥, 等. 基于机器学习的南京地区献血者精准招募方法的建立和应用[J]. 临床输血与检验, 2024, 26(4): 535–543. [Chen J, Zhao ZY, Tian JY, et al. Machine learning-based development and application of a precise blood donor recruitment strategy in Nanjing[J]. Journal of Clinical Transfusion and Laboratory Medicine, 2024, 26(4): 535–543.] DOI: 10.3969/j.issn.1671-2587.2024.04.018.

收稿日期: 2024 年 12 月 07 日 修回日期: 2025 年 02 月 13 日
本文编辑: 桂裕亮 曹越

引用本文: 杨旭, 刘舒琦, 黄慧, 等. 基于 ARIMA 模型的临床红细胞需求预测研究[J]. 医学新知, 2025, 35(11): 1272–1278. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202412034.
Yang X, Liu SQ, Huang H, et al. Prediction and analysis of red blood cells clinical demand based on the ARIMA model[J]. Yixue Xinzhi Zazhi, 2025, 35(11): 1272–1278. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202412034.