·临床研究·

# 基于历史和近期用血量的血站 MAP 洗涤红细胞精准供应模型的建立与探讨*

唐　琼,徐筠娉,庄乃保△
(深圳市血液中心,广东 深圳 518000)

[摘　要] **目的**　构建一种基于历史用血量和近期用血量的血站血液库存预测模型。**方法**　收集 2020—2023 年该中心甘露醇腺嘌呤磷酸二氢钠(MAP)洗涤红细胞 4 种血型(A、B、O、AB 型)临床用量数据,计算日均用血量,再利用近期周用血量数据作为移动平滑指数,结合 2 种数据的均值形成周库存量的动态模型。预测 2024 年 4 种血型每周用血量,与实际用血量分别进行对比,评估模型的预测效果;利用供需平衡曲线法评估不同库存量的库存充足率和库存不足率,以确定最优库存基数。**结果**　2020—2023 年 MAP 洗涤红细胞临床周均用血量 A、B、O、AB 型血型分别为 37(29.3,46.5)、28(22.5,36.3)、(85.3±23.2)、8(4,13)U;4 种血型预测值与实际值比较,差异无统计学意义($P>0.05$);A、B、O、AB 型血型库存基数分别为 2、2、4、0 U 时按预测量制备库存效果最佳。**结论**　用所得 4 种血型对应的最佳库存基数模型,应用该模型能很好地预测 MAP 洗涤红细胞的用血需求,为血站储备库存提供参考依据。

[关键词]　库存预测模型;　洗涤红细胞;　库存充足率;　历史用血量
**DOI**:10.3969/j.issn.1009-5519.2026.07.016　　**中图法分类号**:R457.1
**文章编号**:1009-5519(2026)07-1523-05　　**文献标识码**:A

## The establishment and discussion of a precise supply model for MAP-washed red blood cells in blood stations based on historical and recent blood usage data*

*Tang Qiong*, *Xu Yunping*, *Zhuang Naibao*△
(*Blood Supply Service Department of Shenzhen Blood Center*, *Shenzhen*, *Guangdong* 518000, *China*)

[**Abstract**]　**Objective**　To establish a blood inventory prediction model for blood stations based on historical and recent blood consumption data. **Methods**　The clinical consumption data of four blood groups(A, B, O, AB) of MAP-washed red blood cells from our center between 2020 and 2023 were collected. The average daily consumption was calculated, and recent weekly consumption data were adopted as the moving smoothing index. A dynamic weekly inventory model was established based on the mean values of the above two types of data. The weekly consumption of the four blood groups in 2024 was predicted and compared with the actual blood consumption to evaluate the prediction effect of the model. The supply and demand balance curve method was used to assess the inventory adequacy rate and inventory insufficiency rate under different inventory levels in order to determine the optimal base inventory. **Results**　From 2020 to 2023, the average weekly clinical consumption of MAP-washed red blood cells for type A, B, O and AB were 37(29.3,46.5), 28(22.5,36.3), (85.3±23.2), and 8(4,13)U respectively. There was no statistical difference between the predicted values and the actual values of the four blood groups($P>0.05$). The optimal base inventory for type A, B, O and AB blood was 2U, 2U, 4U and 0U respectively. **Conclusion**　Applying this model to the optimal inventory bases corresponding to the four blood groups can accurately predict the blood demand for MAP-washed red blood cells, and provide a reference for blood stations to reserve inventory.

[**Key words**]　Inventory prediction model;　Washed red blood cells;　Inventory adequacy rate;　Historical blood usage

成分血液库存一直是采供血机构关注的核心问　题,多家血站均曾利用不同预测模型达到制备库存的

* **基金项目**:广东省深圳市"医疗卫生三名工程"项目(SZSM202311032);广东省深圳市血液中心中心级课题项目(SZBC202313)。

△ **通信作者**,E-mail:zgneighber@126.com。

**引用格式**:唐琼,徐筠娉,庄乃保.基于历史和近期用血量的血站 MAP 洗涤红细胞精准供应模型的建立与探讨[J].现代医药卫生,2026,42(7):1523-1527.

目的[1-4]。这些模型均需经复杂的统计学运算才能得出预测结果，不便于临床实践运用，特别是在非常规时期，需快速制定库存量应对临床用血的不确定性，如全球新型冠状病毒感染疫情暴发后血液供应和需求的平衡被打破，献血量大幅度减少，而临床用血需求却因急诊手术、重症患者增加等因素上升[5-6]。这种供需失衡不仅影响了对患者的及时救治，也对血库的库存管理提出了更高要求[7-9]。在这种情况下如何在有限的资源下用一种简便而有效的方法确保血液库存的同时避免浪费成为库存管理的关键问题。

甘露醇腺嘌呤磷酸二氢钠(MAP)洗涤红细胞作为一种重要的血液制品，广泛用于临床治疗中，特别是在免疫系统疾病、输血反应高风险患者，以及新生儿溶血病等特殊病例中[10-11]。然而 MAP 洗涤红细胞的制备过程复杂，虽然保存期限有 35 d，但大量研究表明，MAP 洗涤红细胞会因储存时间延长而出现多种不良现象[12-13]。所以，不适宜储备过多库存，故建立一种科学的 MAP 洗涤红细胞库存预测模型，既保证血液库存处于较新鲜的情况下还能适用于临床多种不确定因素导致的用血需求变化，是采供血机构必须解决的问题。作者在前期研究中，根据临床用血量设计了 2 种方案预测库存量，得出方案 2 比方案 1 更加接近实际用血量[14]。本研究继续在原有基础上进行改良，构建一种基于历史和近期用血量的 MAP 洗涤红细胞库存简易实用预测模型，结合新型冠状病毒感染疫情期的特殊背景，以期达到该模型不仅在常规用血期适用更能用于用血量波动频繁期，为血站库存管理提供科学依据。

## 1　材料与方法

**1.1**　数据来源　通过该中心唐山启奥 9.0 血液信息管理系统收集 2020－2023 年 MAP 洗涤红细胞临床用血的周用血量数据，按 4 种血型(A、B、O、AB 型)进行分类分别计算均值。

**1.2**　方法

**1.2.1**　预测模型　以 1 个星期为周期预测每周用血量，采用的库存预测模型基于以下公式：计划库存量(每周)＝(2020－2023 年周用血量均值＋预测周的上周实用血量)/2(A)。运用公式(A)分别预测 2024 年全年 4 种血型每周用血量数据。

**1.2.2**　评估方法　预测用血量与实际用血量采用 $t$ 检验进行对比；同时，利用供需平衡曲线法评估不同库存基数下的库存充足率和库存不足率，运用评价指数确定最优库存基数。为进一步优化库存管理根据预测量与实际量的误差设计供需平衡曲线法评估不同库存基数下的库存充足率和库存不足率，以及利用评价指数确定最优库存基数，从而在保证供血充足的同时尽量减少零库存的发生。评价指数表示模型预测量高于实际量和低于实际量时其保证库存充足率和库存不足率的能力。库存基数相当于每次制备库存时库存基础数量，在研究中基于模型预测量上，每个血型通过遍历所有候选库存基数(从最小值到最大值，按一定步长递增，根据实际库存中红细胞规格选取 2 的倍数)，筛选出既能保障临床供血又能降低库存积压与库存不足双重风险的最优库存基数。定义计算公式：库存充足率＝实际用血量小于(预测库存量＋库存基数)的周数/总周数(B)。库存不足率＝实际用血量大于(预测库存量＋库存基数)的周数/总周数(C)。评价指数＝实际用血量等于(预测库存量＋库存基数)的周数/总周数(D)。数值越大表示此库存基数为最佳，数值相同则以最低基数为最佳。

**1.3**　统计学处理　应用 SPSS26.0 统计软件进行数据分析，符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示，不符合正态分布的计量资料以 $M(P_{25},P_{75})$ 表示，采用配对样本 $t$ 检验等。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2　结　　果

**2.1**　用血量　2020－2023 年 A、B、O、AB 型血型 MAP 洗涤红细胞周用血量分别为 37(29.3，46.5)、28(22.5，36.3)、(85.3±23.2)、8(4，13)U；平均年增长率分别为(5.0±15.0)%、(4.2±3.0)%、(8.1±15.8)%、(－0.5±18.1)%；平均 MAP 洗涤红细胞占比分别为(3.8±0.1)%、(3.4±0.2)%、(5.8±0.8)%、(3.5±0.1)%。见图 1、表 1。

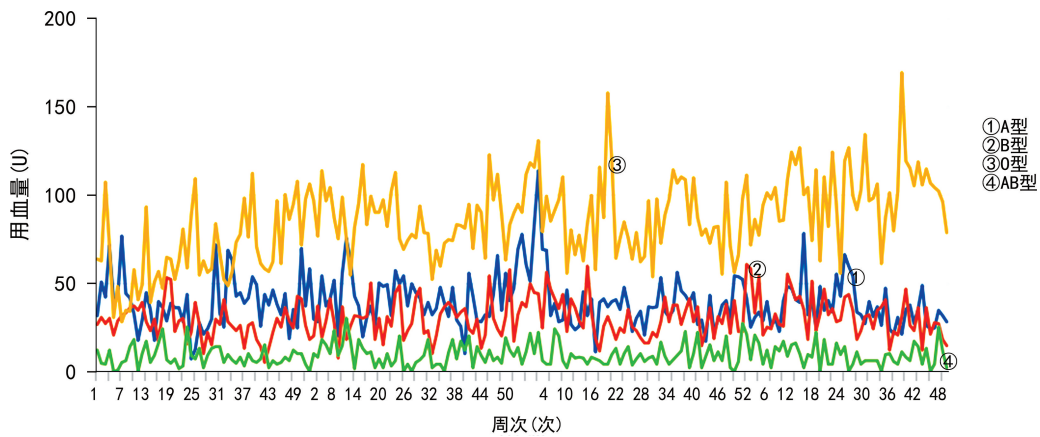


**图 1**　2020－2023 年 MAP 洗涤红细胞周用血量折线图

**2.2**　4 种血型 MAP 洗涤红细胞预测数据和实际数据比较　4 种血型 MAP 洗涤红细胞预测数据和实际数据比较，差异均无统计学意义（$P>0.05$）。2024 年 MAP 洗涤红细胞预测和实际周用血量见表 2。4 种血型 MAP 洗涤红细胞预测量与实际量比较见表 3。

**2.3**　供需平衡曲线法分析　A、B、O、AB 型血型最佳库存基数分别为 2、2、4、0 U。见图 2～5。

**表 1**　2020－2023 年 4 种血型红细胞总类和 MAP 洗涤红细胞用血量（$\bar{x}\pm s$）

| 血型 | 红细胞总量（U） | 年增长率（%） | MAP 洗涤红细胞量（U） | 年增长率（%） | MAP 洗涤红细胞占比（%） |
|---|---|---|---|---|---|
| A 型 | 538 83.6±1 811.3 | 1.2±5.1 | 2 053.1±109.3 | 5.0±15.0 | 3.8±0.1 |
| B 型 | 45 245.9±2 520.9 | 2.5±7.8 | 1 556.0±97.8 | 4.2±3.0 | 3.4±0.2 |
| O 型 | 76 588.3±4 395.1 | 1.3±8.2 | 4 457.6±684.2 | 8.1±15.8 | 5.8±0.8 |
| AB 型 | 13 503.5±720.6 | 3.7±5.4 | 478.1±40.1 | −0.5±18.1 | 3.5±0.1 |

**表 2**　2024 年 MAP 洗涤红细胞预测和实际周用血量（$n=52$）

| 血型 | 预测量 | 实际量 |
|---|---|---|
| A 型［$M(P_{25},P_{75})$，U］ | 36.05（31.73，42.67） | 32.75（24.13，46.0） |
| B 型［$M(P_{25},P_{75})$，U］ | 28.44（25.69，31.25） | 27.0（21.63，32.63） |
| O 型（$\bar{x}\pm s$，U） | 84.66±8.73 | 85.02±18.25 |
| AB 型［$M(P_{25},P_{75})$，U］ | 7.60（5.60，9.60） | 6.0（2.0，10.0） |

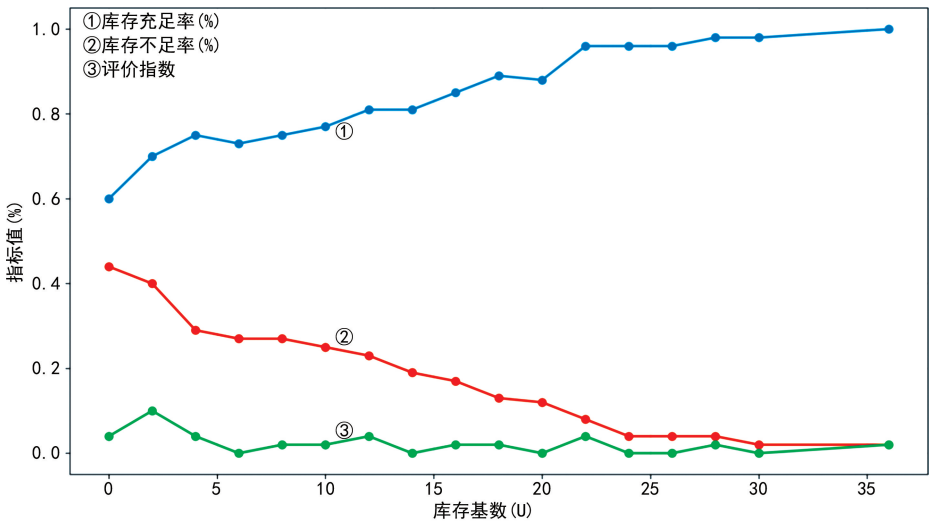


**图 2**　A 型洗涤红细胞不同库存基数模型预测效果评价图

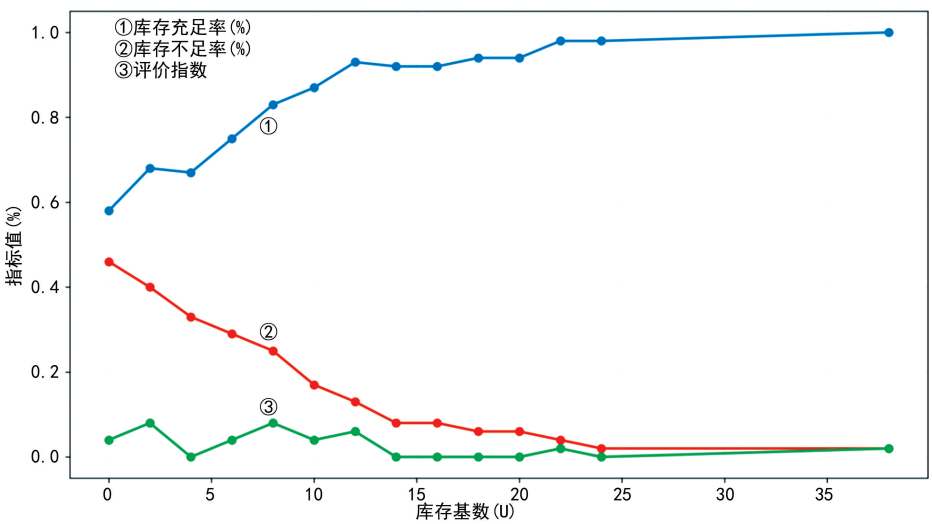


**图 3**　B 型洗涤红细胞不同库存基数模型预测效果评价图

表 3　4 种血型 MAP 洗涤红细胞预测量与实际量比较

| 血型 | 用血量($\bar{x}\pm s$,U) | 标准误 | $t$ | 自由度 | $P$(双侧) | 95%可信区间 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A 型 | 2.310 5±14.723 2 | 2.041 7 | 1.132 | 51 | 0.263 | −1.788 5～6.409 4 |
| B 型 | 0.719 0±11.492 8 | 1.593 8 | 0.451 | 51 | 0.654 | −2.480 6～3.918 7 |
| O 型 | −0.363 6±20.713 7 | 2.872 5 | −0.127 | 51 | 0.900 | −6.130 3～5.403 1 |
| AB 型 | 1.213 5±5.687 2 | 0.788 7 | 1.539 | 51 | 0.130 | −0.369 9～2.796 8 |

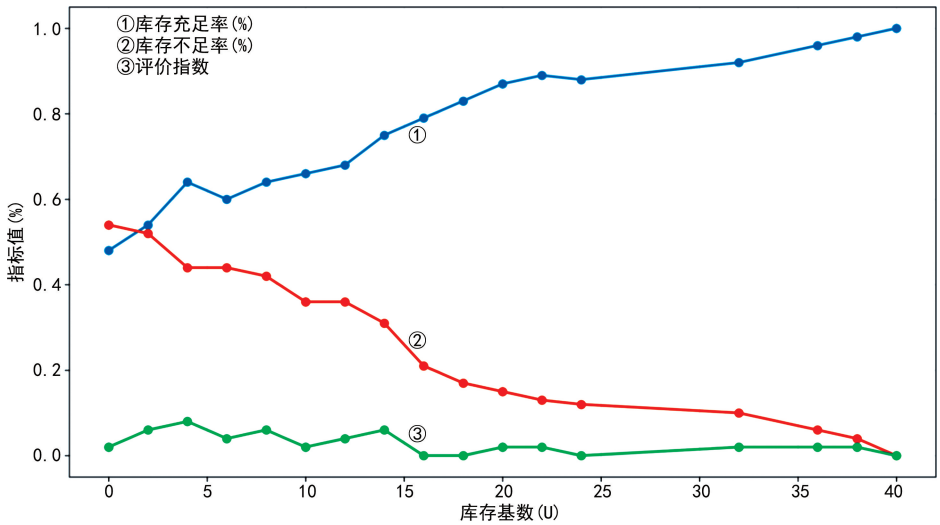


图 4　O 型洗涤红细胞不同库存基数模型预测效果评价图

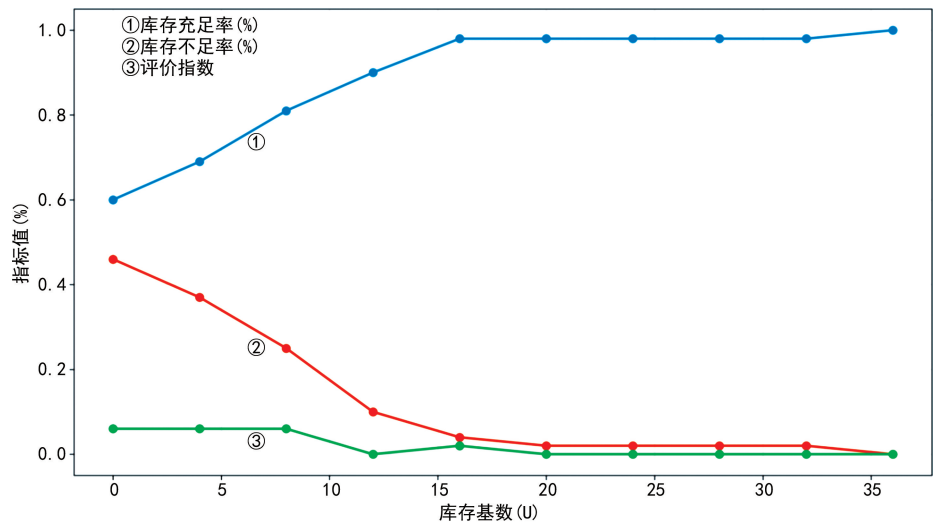


图 5　AB 型洗涤红细胞不同库存基数模型预测效果评价图

## 3　讨　论

2020 年新型冠状病毒感染疫情突袭全球，给国家及社会带来一系列重大影响，全球经济衰退，供应链中断，交通运输、餐饮、文娱行业受到严重冲击[15-16]，医疗资源紧张，医疗服务模式发生转变，人民生活方式发生改变。一系列因素导致城市人口流失，街道人流减少，而医院患者持续增多，用血量快速增长，给采供血机构带来严重影响。全国 24 家血站对疫情期用血量调查显示，在疫情防控期间红细胞成分血日均发放数量较非疫情期增加[17]；天津市在疫情高发期调查中显示，全血采集量明显下降[18]，大连市用血量特征发生明显变化[19]。基于此如何快速建立一种简便的适用非常规时期基于临床用血量的库存模型尤为关键。

深圳市在疫情初期——2020－2021 年红细胞总类年用血量呈上涨趋势，2022－2023 年用血量持续下降，并且呈个体分化情况，A、B、O 型血型呈负增长趋势，AB 型血型 2023 年用血量呈正增长趋势。而 MAP 洗涤红细胞除 A 型血型外，其余 3 种血型整体呈逐年增长趋势。A 型血型随红细胞总类用血量一致出现下降趋势，但占比未变；其余 3 种血型 MAP 洗涤红细胞在红细胞总类用血量中占比呈逐年增长趋势。可见在非常规时期洗涤红细胞的需求较常规期更大。

本古窑周用血量图 1 显示，4 年中 MAP 洗涤红

细胞周用血量呈不确定性，时高时低，存在明显季节性波动，O 型血型用血量最大，同时呈阶梯型上涨趋势，2022 年第 22 周、2023 年第 42 周有 2 个很明显的高点；A 型血型未见阶梯型上涨趋势，后期走势小幅度下降，2022 年第 3 周有一个很明显的峰点；其余 2 种血型用血量涨幅趋势不明显，但周用血量波动幅度较大。表明 4 种血型用血量趋势各自存在特点。因此，在设计库存预测量时需进行分开分析和预测。同时，2020 年后受多重因素影响（临床用血和采血的双重制约）增长率变缓，如采用加权平均有可能使预测值大量偏高；如用跨度时间较长的用血量均数（5 年以上）作为基数存在预测量被拉低的情况，太短又不能很好地反映临床用血量的波动特点（1 年以下），而 2～4 年的数据不仅能更好地过滤掉多种偶然因素，又能反映趋势，凸显真实的特点。故本研究采用近 4 年均值作为基数搭配预测周上周用血量作为动态预测模型，以应对时高时低的季节性波动，让库存量永远随临床实际用血量而作动态调整。

有研究发现，去白细胞悬浮红细胞不同储存时间对制备洗涤红细胞的质量有较大影响，随着血液储存时间延长，制备洗涤红细胞的溶血率、上清蛋白质含量也随之增加，建议使用保存期在 2 周内的血液制备洗涤红细胞[20]。因此，本研究制备 MAP 洗涤红细胞时均选用库存中最新采血日期的去白细胞悬浮红细胞进行制备，一般为采血后 3～4 d 的血液，以保证库存储备血处于较新鲜的状态。同时，本研究采用每周制备库存的方法，也是基于此目的。

为使库存储备更精准，本研究利用供需平衡曲线法评估不同库存基数下的库存充足率和库存不足率，以评估模型性能并确定最优库存基数。与朱驰等[21]运用的类似受试者工作特征曲线在血液库存管理中的应用具有异曲同工之处。在实际应用中，库存充足率和库存不足率存在权衡，过高库存量可确保供血充足，但可能导致血液制品的浪费或新鲜度降低；过低库存量可减少浪费，但可能导致供血不足。利用此种权衡运用预测量得出 A、B、O、AB 型血型最优库存基数分别为 2、2、4、0 U。按此基数模型，当每次制备库存时将此基数加入制备量中，使每周库存量均处于库存充足率最高且库存不足率最低的状态，达到精准库存的目的。

本研究构建的库存预测模型基于 2020－2023 年的历史数据，同时，结合了近期用血量的信息，目的是使库存量永远随近期临床用血量调整以应对临床多因素导致的用血量浮动，以求达到动态平衡。为验证这种动态调整机制是否适用于用血需求的变化，尤其是在季节性波动或突发大规模卫生事件发生时[22]，特别利用了疫情期用血量的数据为依据建立模型，通过预测 2024 年 52 周的库存量，并与实际用血量进行对比发现，该模型在大多数情况下能较好地预测 MAP 洗涤红细胞的用血需求。模型基于用血量波动期的历史数据能达到预期效果，更能适用在用血量平稳期。同时，该模型相较于其他计算过程复杂、实用性低的数学统计模型，如 ARIMA 模型、随机森林模型、神经网络模型等具有计算简单、实操性强等优点。未来可随着时间递进和用血量的变化将均数进行动态调整，模型恒定基于近 2～4 年内用血量均数为依据预测库存量，以适应和接近更真实的用血量数据，达到精准库存目的。

## 参考文献


[1] 唐琼，王皓飚，庄乃保. 血站 MAP 洗涤红细胞在需求平稳期精准供应模型的建立与验证[J]. 现代医药卫生，2025，41(10)：2337-2345.

[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.

[3] 刘环宇，王娜，刘丹，等. 预测模型在血液库存管理中的应用[J]. 中国输血杂志，2022，22(2)：210-214.

[4] 谭卫斌，周春兰，邬红云. 基于 SWOT-PEST 分析的血液库存管理改进策略[J]. 中国卫生质量管理，2022，29(10)：89-91.

[5] 傅奇，杨培，毛伟. 新型冠状病毒肺炎疫情对采供血影响的调查分析[J]. 重庆医学，2021，50(24)：4257-4260.

[6] 周伟敏，张天弼，霍宝锋，等. 新冠肺炎疫情对韶关市无偿献血的影响及应对策略[J]. 青岛医药卫生，2023，55(3)：228-231.

[7] 赵祎莉，刘贵龙，李丹丹，等. 新冠疫情背景下综合医院供血应急机制探讨[J]. 现代医院，2021，21(9)：1384-1387.

[8] 任伟，姚洁，颜语，等. 新型冠状病毒肺炎疫情下血液库存管理的分析与探讨[J]. 中国输血杂志，2020，33(7)：712-715.

[9] 严莉，李雪铭，孙宇飞，等. 新型冠状病毒流行期间血液库存保障[J]. 中国输血杂志，2022，20(1)：68-71.

[10] 宋庆华. 洗涤红细胞在反复输注红细胞患者输血治疗中的应用效果[J]. 中国现代药物应用，2024，18(12)：93-96.

[11] 党创伟，李自锋，刘钊锋，等. 新生儿 ABO 同型血交叉配血不合原因及安全输血分析[J]. 内科，2022，17(1)：102-104.

[12] 邓莉，欧阳熊妍，彭楷，等. 不同起始血液制备洗涤红细胞的质量比较[J]. 检验医学与临床，2021，18(8)：1136-1138.

[13] 杨宜承，郑井滨，毕聪玺，等. 去白细胞洗涤红细胞保存期内膜蛋白 CD47 和磷脂酰丝氨酸表达变化[J]. 临床血液学杂志，2023，36(6)：413-416.

[14] 唐琼，杨爱莲，徐筠娉. 血站 MAP 洗涤红细胞精准供应模型的建立与探讨[J]. 中国输血杂志，2022，20(1)：98-102.

[15] 吴婷婷，朱昂昂. 新冠肺炎疫情对中国经济的影响及应对策略[J]. 南方金融，2020(5)：3-11.

[16] 杨波，夏筱君，陈媛媛. 新冠肺炎疫情下的餐饮业：冲击与分化[J]. 河海大学学报（哲学社会科学版），2021，23(1)：31-40.

[17] 陈委娜，钟建玲，丁月平，等. 我国地市级血站新冠疫情期间红细胞成分血库存情况的回顾性分析[J]. 中国输血杂志，2023，36(10)：903-906.

（下转第 1533 页）