· 论著 ·

RhD 阴性红细胞临床保障北京模式的构建与实践

张伟东　张宁　郭雨辰
(北京市红十字血液中心,北京 100088)

摘要:目的　构建适宜首都临床用血安全需求的 RhD 阴性红细胞保障模式,系统性解决稀有血型血液供应的及时性与安全性难题。**方法**　调取北京市红十字血液中心管理信息系统 2021—2025 年 RhD 阴性红细胞发放数据,对供需特征、血型分布、季度波动及保障难点进行回顾性分析,据此建立涵盖需求评估、预约响应、库存统筹和区域协调的分级保障机制,并在实践中持续优化。**结果**　近 5 年共发放 RhD 阴性红细胞 15 295 U,A、B、O、AB 型发放比例约为 3∶3∶3∶1;各血型季度需求量波动显著。通过实施需求评估、预约响应、库存统筹和区域协调的分级保障机制,RhD 阴性红细胞保障平稳有序,紧急大量用血需求响应时效明显提升,非紧急预约需求满足率保持在较高水平。重大活动保障期间实现 RhD 阴性红细胞"零转阳"与"零报废"。**结论**　北京模式有效应对了优质医疗资源高度集中的 RhD 阴性红细胞保障难题和风险,为其他大型中心城市提供了可借鉴的实践参考。

关键词: RhD 阴性红细胞;血液保障;北京模式;分级管理;应急库存
中图分类号:R457　R193　R331.1^{+}41　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1004-549X(2026)8-1136-05
DOI:10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2026.08.021

Development and practice of the Beijing model for clinical supply of RhD-negative red blood cells

ZHANG Weidong, ZHANG Ning, GUO Yucheng.
Beijing Red Cross Blood Center, Beijing 100088, *China*

Abstract: Objective　To establish a supply model for RhD-negative red blood cells that meets the clinical blood safety needs of Beijing, and to systematically address the challenges of timeliness and safety in rare blood type supply. **Methods**　Data on the distribution of RhD-negative red blood cells from 2021 to 2025 were retrieved from the management information system of Beijing Red Cross Blood Center. A retrospective analysis was conducted on supply-demand characteristics, blood type distribution, quarterly fluctuations and key difficulties. On this basis, a hierarchical supply mechanism covering demand assessment, appointment response, overall inventory planning and regional coordination was constructed and continuously optimized in practice. **Results**　A total of 15 295 units of RhD-negative red blood cells were distributed in the past five years, with an A∶B∶O∶AB ratio of approximately 3∶3∶3∶1. Quarterly demand for each blood type fluctuated significantly. Following the implementation of the hierarchical supply mechanism, the supply of RhDnegative red blood cells remained stable and orderly. The response time for massive emergency blood demand was significantly improved, and the fulfillment rate of non-emergency appointment demand remained high. Zero RhD conversion and zero blood wastage of RhD-negative red blood cells were achieved during the blood support for major events. **Conclusion**　The Beijing model effectively addresses the difficulties and risks associated with RhD-negative red blood cell supply in megacities with highly concentrated high-quality medical resources and provides a replicable practical reference for other major cities.

Key words: RhD-negative red blood cells;blood supply;Beijing model;hierarchical management;emergency inventory

我国汉族人群 RhD 阴性占比仅 3‰左右,按 ABO 血型细分,RhD 阴性 A、B、O 各型比例仅占 0.9‰,AB 型更为稀缺,只有 0.3‰[1]。输血治疗是挽救患者生命和治疗血液相关性疾病的关键举措之一,RhD 阴性血液的临床保障难度更为突出[2]。李志强等[3-4]对保障 RhD 阴性患者的合理安全用血进行呼吁和探讨,也推荐了相应的流程和指南。

北京优质医疗资源集中,每年有来自全国数十万的危重和疑难患者在京就医,临床用血常年处于"紧平衡"状态,而 RhD 阴性红细胞的保障难点和风险最大,主要表现在 5 个方面:一是疫情后用血

第一作者简介:张伟东(1969-),男,卫生管理副研究员,Email:760136055@qq.com

需求明显增长,但首都无偿献血志愿者协会 Rh 阴性献血者公益性应急献血志愿者队伍(在北京简称为“爱心之家”)的应急支持与临床用血增长还存在差距;二是法规要求,制备冰冻红细胞的原料必须为采血 6d 内的全血或悬浮红细胞,决定了 2-6℃保存的 RhD 阴性红细胞不能库存过高,一旦超出冰冻红细胞制备时间,临床无需求且临近失效期,只能“转阳”(是国内采供血机构稀有血型血液库存管理中的行业俗称,并非指红细胞 RhD 抗原发生改变,而是指液态冷藏保存的 RhD 阴性红细胞悬液,不再作为稀有血型供给 RhD 阴性受血者,转而发放给 RhD 阳性患者输注使用的库存处置方式),本质也是避免 RhD 阴性血液资源的浪费[5];三是临床对 RhD 阴性红细胞总体需求量大,但需求的不确定性高,主要表现为患者紧急需求程度、需求时段、各血型在不同时段需求用量的不确定;四是与医院的协同还有较大提升空间,如孕产妇、器官移植、老龄化疾病,以及择期手术等存在需求报备不规范,信息滞后,协同度差等,导致临时大量用血压力增大,且不同医院在自体血回输和合理用血能力方面还存在明显差距;五是北京国际赛事、重大活动多,同时要落实好献血者优先用血相关权益,稀有血型临床用血保障面临更高标准要求。RhD 阴性红细胞作为临床最常用的血液品类,建立科学、合理的 RhD 阴性血库存管理模式对于临床用血安全保障非常重要[6]。

1 资料与方法

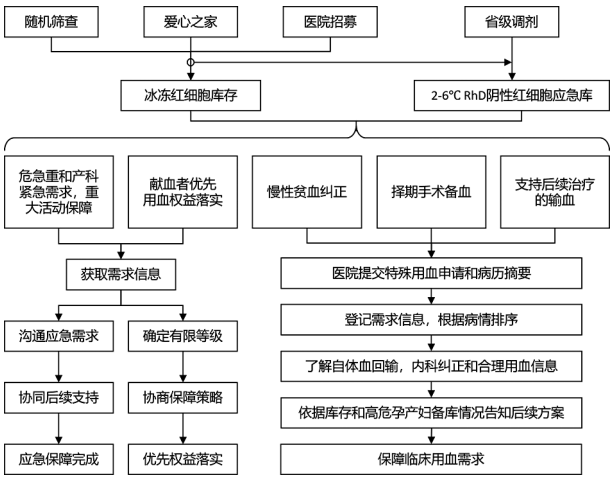
1.1 资料来源

调取北京市红十字血液中心的唐山现代 Shinow9.0 信息管理系统里 2021—2025 年向临床发放的合格 RhD 阴性红细胞的原始数据,包括向辖区保障医院发放的 2-6℃保存的 RhD 阴性红细胞和 RhD 阴性冰冻解冻去甘油红细胞的年度发放量、5 年发放总量和各季度的发放量,细化到 ABO 不同血型。所有数据均经血液库存管理台账 2 次核对,已剔除退回和报废的血液发放数据,确保数据完整、准确,无缺失值。本研究仅使用汇总脱敏业务数据,不涉及隐私。

1.2 方法

本研究回顾性分析 2021—2025 年临床 RhD 阴性红细胞发放数据,采用 Excel 对原始数据进行规范化归类整理,按年份、季度、血型类型进行分层分类统计,同步完成数据核查与质控,剔除缺失、异常无效数据。

基于回顾性分析所揭示的供需特征与保障难点,本研究进一步构建了 RhD 阴性红细胞分级保障机制,其运行框架如下。该机制自血源供给侧形成“常规筛查+爱心之家队伍+医院招募+冰冻红细胞库存+省际调剂”五位一体的资源保障体系;经库存统筹与需求分级评估后,依据患者病情危重程度和用血紧急程度,将临床需求划分为危急重症抢救、产科紧急用血、献血者权益保障、重大活动保障及择期手术备血等优先级,实施分类响应与精准调配。在库存管理端,将保障血液产品分为“全 2-6℃保存”“2-6 ℃保存+冰冻解冻”和“全冰冻解冻”3 类,并结合应急库存设定(A/B/O 各型 6-8 U,AB 型 4-6 U),实现日常供应与应急储备的动态平衡。在需求端,基于病情危重程度划分优先级并匹配差异化备血策略,“只备不取”“全部取走”“取备结合”是对稀有血型资源精准配置的有益探索。本中心还针对必须现场备血和需求弹性大 2 种情况,引入远程监控血液运输箱,利用物联网技术远程管理和实时冷链监控,在需求医院建立临时库存,即需即发,无需收回。RhD 阴性红细胞库存建立与临床分级保障模式结构见图 1。



注:图中展示从血源供给端到库存统筹与分级评估节点,再到需求响应端的分级保障流程。中间从左侧向右为临床需求优先级划分分类,箭头表示信息流与血液流的传导方向。

图 1 RhD 阴性红细胞库存建立与临床分级保障模式结构

Figure 1 Structural diagram of the inventory establishment and clinical graded support model for RhD-negative red blood cells

1.3 统计学分析

使用 SPSS 26.0 软件做数据统计。因数据不满足正态分布,采用 Mann-Kendall 非参数趋势检验

分析各血型季度发放量时序变化趋势,双侧检验以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。通过计算变异系数(CV)量化季度用血波动程度,CV 值越高,代表用血需求离散度越大,血液库存保障难度越高。

2　结果

2.1　2021—2025 年 RhD 阴性红细胞发放总体情况

2021—2025 年 RhD 阴性红细胞临床需求呈现明显增长趋势,2025 年较 2021 年发放量增长了 25.38%,A/B/O/AB 各血型年度发放比例接近为 3∶3∶3∶1,见图 2 和图 3。

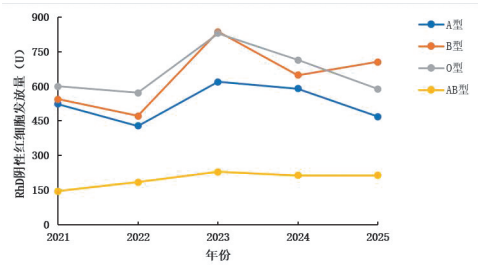


图 2　2021—2025 年 2–6℃常备库存 RhD 阴性红细胞发放量

Figure 2　Distribution of 2–6℃ RhD-negative red blood cells from 2021 to 2025

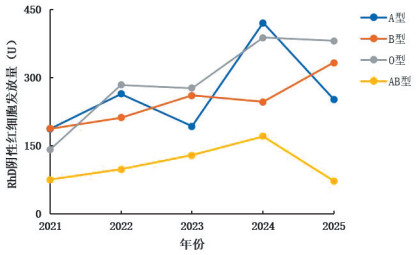


图 3　2021—2025 年冰冻解冻去甘油 RhD 阴性红细胞发放量

Figure 3　Distribution of frozen thawed deglycerolized RhD-negative red blood cells from 2021 to 2025

2.2　2021—2025 年各季度 RhD 阴性红细胞发放情况

临床对 RhD 阴性红细胞各型的需求具有明显的不确定性,A、B、O 3 型季度最低发血量(98 U)和最高发血量(337 U)相差 239 U,AB 型季度最低发血量(20 U)和最高发血量(136 U)相差 116 U,AB 型保障难度最大。2021—2025 年各季度 RhD 阴性红细胞 A、B、O、AB 各型发放量见图 4。A、B、O 3 型季度发放量呈显著单调递增趋势($P<0.001$),需求逐年上涨和季节性波动大使得供给压力持续提升;AB 型则无增长趋势($P=0.2119$),需求无规律可循。对比各血型季度 CV 显示,A 型 24%、B 型 26%、O 型 27%,并且存在季度季节性波动(每年 3 季度普遍为全年高峰);AB 型 31%,远高于其他血型,维持供需平衡难度最大。

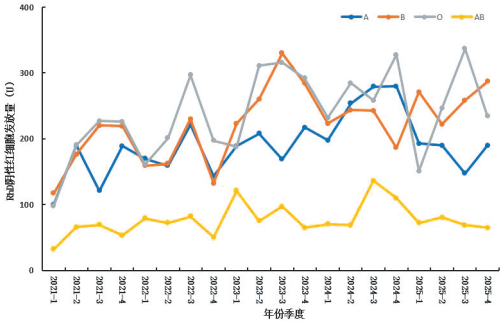


图 4　2021—2025 年各季度 RhD 阴性红细胞发放量

Figure 4　Quarterly RhD-negative red blood cell units issued from 2021 to 2025

2.3　2021—2025 年 RhD 阴性红细胞月度发放总体情况

临床对 RhD 阴性红细胞需求在不同年份和月份具有明显的不确定性,5 年内的月度最低发血量(97 U)和最高发血量(404.5 U)相差 307.5 U,各年度内月度发血量的波动幅度亦较大。从季节分布看,每年 2 月、9 月和 12 月需求相对偏低,而 7 月则为全年需求高峰期,提示这段时间为突发大量用血高风险期。基于年度间总量波动和同年内月度需求波动情况来看,2021 和 2022 年总发放量基本持平,2023 和 2024 年需求增长近 40%,2025 年稍有回落($P=0.110$),说明临床需求突发式抬升、无稳定增长规律。2021—2025 年 RhD 阴性红细胞月度发放量见图 5。2021 年和 2022 年的月度 CV 分别约为 35.2%和 32.1%,均高于 30%,提示这 2 年内月度需求差距大,淡旺季供需失衡严重;2023—2025 年的 CV 依次下降至 24.6%、18.3%和 13.0%,表明月均需求趋于平稳,但由于整体需求基数较前期更高,基础保障压力依然较大。

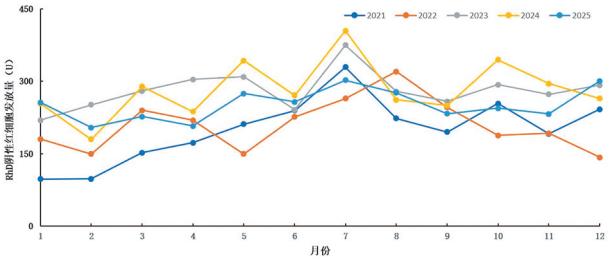


图 5　2021—2025 年 RhD 阴性红细胞月度发放量

Figure 5　Monthly RhD-negative red blood cell units issued from 2021 to 2025

2.4　RhD 阴性红细胞分级保障机制的运行实践

为验证该机制在复杂场景下的保障效能,收集了本周期内具有代表性的重点保障案例。案例涵盖

了突发大量用血、危重孕产妇抢救及重大活动保障等关键场景,见表 1。实践表明,通过分级响应与多机构协同,有效保障了极端情境下的血液供应安全。

表 1 RhD 阴性红细胞分级保障机制重点场景的实践验证案例

Table 1 Practical validation cases of the graded support mechanism for RhD-negative red blood cells in key scenarios

保障场景	案例类型	供血需求	分级响应策略	保障结果
突发大量用血	患者肝移植术中突发大出血	RhD 阴性 B 型血(红细胞 21 U,血浆 33 U)	启动应急库存(2-6℃红细胞)首轮供应;同步协调成分科紧急解冻冰冻红细胞接续	患者手术成功
危重孕产妇抢救	孕妇产前突发羊水栓塞,母婴生命垂危	RhD 阴性 O 型血(红细胞 10 U,血浆 40 U)	启动产科紧急沟通机制,应急库存与冰冻解冻红细胞联合保障,血浆同步供应	历时 6 h,母婴均抢救成功

3 讨论

临床紧急用血需求以危重抢救患者为主,病情危急、用量大是其主要特点[7-8]。实践证明,RhD 阴性红细胞临床用血保障模式的构建,不仅提升了 RhD 阴性红细胞临床紧急需求的安全保障能力,也较好解决了临床非紧急需求的保障预期问题。多年来,本中心持续强化“爱心之家”队伍的稳固建设,作为紧急用血的备用血源,成为了 RhD 阴性血的主要来源和流动血库[9]。2021—2025 年,本中心向临床发放 RhD 阴性红细胞中,本地捐献常态化筛查、定向招募和医院招募占 89%;省际血液调剂占 11%,有效缓解了首都 RhD 阴性用血需求的阶段性压力。北京模式的构建涵盖了从血管到血管的全流程,RhD 阴性红细胞资源统筹和紧急大量用血需求响应时效明显提升,非紧急预约需求满足率保持在较高水平。

本研究发现,2021—2025 年临床对 RhD 阴性红细胞需求逐年递增,2025 年较 2021 年发放量增长了 25.38%;AB 型人群因群体占比仅 0.3‰,遇突发大量用血需求,保障难度最为突出;不同时段对不同血型的需求也呈现较大幅度波动。季度波动数据显示,各型需求量存在显著时段不确定性,季度需求最大量与最小量差距明显。这一波动特征在既往研究中较少被量化报道,究其原因,可能与首都优质医疗资源高度集中、异地就医患者占比高、大型手术和急危重症救治集中有关。上述特征决定了单纯依赖 2-6℃常规库存难以有效应对临床紧急需求,必须建立适宜城市需求特点的多层次库存保障与弹性响应机制,提升有限资源的统筹能力。

分级保障机制的核心要素与运行逻辑就是通过血站与临床用血医院建立“供血科⇌输血科⇌临床科室”三方沟通协同机制,实现预有准备和高效保障。器官移植术中大出血和产科大出血是 RhD 阴性红细胞保障最具挑战性的场景。以产科为例,我们与医院建立的“RhD 阴性高危孕产妇血液保障沟通机制”在孕妇产前 2 周开始启动,有效降低了产科紧急用血的响应延迟。2 例短时间内 RhD 阴性红细胞安全及时保障的典型成功抢救案例,验证了合理的 2-6℃常规应急库存设置和冰冻红细胞应急支持在应急保障中的重要性。北京作为国家政治中心,重大活动多,建立重大任务血液保障与常规医疗临床用血保障并轨融合的适宜机制同样非常重要。以 2022 年北京冬奥会/冬残奥会血液保障为例,根据国际奥委会提供的此前冬奥会伤残率、手术量数据,以及相关数据分析,合并损伤发生率为 12.55%[10],远高于夏季奥运会。且 RhD 阴性血比例约占 15%的白种人群,在参赛运动员中占比多。从 2018 年受领任务开始,本中心就启动了“RhD 阴性红细胞库存建立与临床分级保障模式”的研究,建立了非“危急重和产科紧急需求”的预约保障模式,并在实践中不断优化和完善。赛事期间,本中心共招募 RhD 阴性献血志愿者 47 人次,献血 67 U,赛区 2-6℃ RhD 阴性红细胞应急库存储备量最高达到 52 U。按照各血型常规医疗需求预约量,动态调整两个赛区 2-6℃库存储备量和不同效期库存数量。本届赛事损伤发生率远低于往届,仅输注 RhD 阴性红细胞 2U,并通过资源统筹,实现了 RhD 阴性红细胞“零转阳、零报废”。多次重大保障任务的经验提示,程序性、规范化的组织与管理才能确保 RhD 阴性血的有效供应和输注安全[11-12]。

RhD 阴性红细胞保障策略是建立适宜首都临床用血安全保障机制的重要组成部分。作为不可替代的稀缺临床医疗资源,稀有血型血液保障能力直接关系到创伤急救、孕产妇、意外大量失血、老年慢性疾病、血液病和外科手术等患者的生命安全。随着医疗需求提升、交通便利和异地医保跨省结算全面实施,RhD 阴性红细胞临床需求将保持长期增长和高不确定性态势。本中心从血液来源与需求增长的不匹配、临床需求保障的难点、库存统筹管

理、分级预约用血、产科高危沟通、突发用血应急、年度效能评估、难点提质增效等方面构建全链条保障体系。依托信息化数据支持,与医疗机构和兄弟血站良好协同,不断优化本中心 RhD 阴性红细胞保障全流程管理,通过 RhD 阴性红细胞需求的分级保障机制,进一步提升了“安全、及时、有效”的临床用血保障能力和水平。北京作为优质医疗资源高度集中的超大城市,其 RhD 阴性红细胞保障面临的“高需求总量、高不确定性、高时效要求”在全国具有典型性。北京模式中分级响应、库存分层、多方协同的核心策略,对上海、广州、深圳等同样面临稀有血型供应压力的特大城市具有一定参考价值。建议其他特大城市血液中心在借鉴本中心经验时,应结合本地医疗资源布局、献血者队伍基础和区域协同能力进行适应性调整。

利益冲突说明/Conflict of Interests

所有作者均声明不存在利益冲突。

伦理批准及知情同意/Ethics Approval and Donor/Patient Consent

本文不涉及伦理审批和知情同意。

作者贡献/Authors′ Contribution

张伟东:数据收集和分析、论文撰写;张宁:数据收集和分析;郭雨辰:数据分析、论文撰写。

[参考文献]

[1] 刘毅,吴敏慧,郑凌,等. Rh 血型 C、c、E、e 抗原在南京地区部分人群分布频率[J]. 中国输血杂志,2009,22(10):830-831.
LIU Y, WU M H, ZHENG L, et al. Distribution frequency of Rh C, c, E, e antigens in a partial population of Nanjing area[J]. Chin J Blood Transfusion, 2009, 22(10):830-831.

[2] 杨成民,刘进,赵桐茂. 中华输血学[M]. 北京:人民卫生出版社,2017:26-937.
YANGC M, LIU J, ZHAO T M. Chinese transfusion medicine[M]. Beijing: People′s Medical Publishing House, 2017:26-937.

[3] 兰炯采,张德梅,张印则,等. 再论 Rh 阴性患者的科学安全输血[J]. 中国输血杂志,2009,22(5):341-342.
LAN J C, ZHANG D M, ZHANG Y Z, et al. Re-discussion on scientific and safe blood transfusion for Rh-negative patients[J]. Chin J Blood Transfusion, 2009, 22(5):341-342.

[4] 李志强. 规范 RhD 阴性患者紧急输血流程确保输血安全[J]. 中国输血杂志,2010,23(8):655-657.
LIZ Q. Standardizing the emergency transfusion procedure for RhD-negative patients to ensure transfusion safety[J]. Chin J Blood Transfusion, 2010, 23(8):655-657.

[5] 中华人民共和国卫生部. 全血及成分血质量要求:GB 18469-2012[S]. 2012.
Ministry of Health of the People′s Republic of China, Standardization Administration of China. Quality requirements for whole blood and blood components:GB 18469-2012[S]. 2012.

[6] HELL K, MASSER B, DAVISON TE, et al. A typology of strategies that recognize, reward, and incentivize blood donation[J]. Transfusion, 2022, 62(10):2077-2085.

[7] 汤丁洁,项汉城,冯晨晨,等. RhD 阴性红细胞临床用血情况调查与分析[J]. 中国输血杂志,2016,29(9):971-973.
TANGD J, XIANG H C, FENG C C, et al. Investigation and analysis of clinical transfusion of RhD-negative red blood cells[J]. Chin J Blood Transfusion, 2016, 29(9):971-973.

[8] 陈国安,杨家宏,张浩. 武汉地区稀有血型库运行情况分析[J]. 中国输血杂志,2013,26(10):1017-1019.
CHENG A, YANG J H, ZHANG H. Analysis on the operation of rare blood type database in Wuhan area[J]. Chin J Blood Transfusion, 2013, 26(10):1017-1019.

[9] 李璐璐. 宜昌市 RhD(-)血液采供情况分析[J]. 中国输血杂志,2013,26(10):1021-1022.
LIL L. Analysis of blood collection and supply of RhD-negative blood in Yichang[J]. Chin J Blood Transfusion, 2013, 26(10):1021-1022.

[10] 周文琪,袁正,李彦等. 第 21-23 届冬季奥运会赛期运动损伤发生特点[J]. 中国运动医学杂志,2021,40(11):922-926.
ZHOUW Q, YUAN Z, LI Y, et al. Characteristics of sports injuries during the 21st-23rd Winter Olympic Games[J]. Chin J Sports Medicine, 2021, 40(11):922-926.

[11] 郭艳娟,姚勇. 新形势下 RhD 阴性血液管理工作探讨[J]. 护理研究,2019,33(23):4178-4180.
GUOY J, YAO Y. Exploration on management of RhD negative blood under the new situation[J]. Chinese Nursing Research, 2019, 33(23):4178-4180.

[12] 赵凤绵,常缨,张燕,等. 石家庄地区 RhD 阴性无偿献血采集量与供血量对比分析研究[J]. 中国输血杂志,2020,33(6):619-623.
ZHAOF M, CHANG Y, ZHANG Y, et al. Comparative analysis of collection and supply volume of RhD-negative voluntary unpaid blood donations in Shijiazhuang area[J]. Chin J Blood Transfusion, 2020, 33(6):619-623.

(2026-07-07 收稿,08-05 修回,08-08 接收)

本文编辑:闻欣