· 专家论坛 ·

基于系统视角的血液管理体系：从地区血液供应到临床输血决策的整合模型构建

朱长太[1] 孙蕴华[2] 张兰珺[2] 黄龙[1] 黎勤云[1] 唐河山[3] 臧艳[3] 林俊杰[2] 钱宝华[3]

(1. 上海交通大学医学院附属第六人民医院 输血科，上海 200233；2. 上海市血液中心 上海市血液管理办公室，上海 200051；3. 海军军医大学第一附属医院 输血科，上海市临床输血质控中心 上海 200433)

摘要：目的 为应对血液系统所面临的供需失衡、调配滞后以及临床用血不合理等系统性难题，同时弥补现有理论在整合社会动员、机构实践与政策协同方面的不足，构建 1 个从宏观到微观的系统动力学模型，以系统视角剖析血液管理体系。**方法** 通过系统检索中英文文献来识别关键变量，并运用改良德尔菲法，邀请不同领域专家进行专家咨询，最终筛选并确定了各子模型的核心变量集。进一步通过界定其逻辑关联，构建系统动力学模型，系统解析血液管理体系的运行机制。**结果** 成功提取涉及血液管理体系主要变量并构建了 4 个核心子模型：1）宏观“动态天平”模型，对地区血液供需平衡及库存调节进行量化；2）动员“三层漏斗”模型，解析社会文化、服务渠道与政策激励对献血行为转化的影响；3）机构“双环调节”模型，揭示医院用血量由疾病负荷（需求环）与血液管理（调节环）共同驱动；4）个体“三重滤网”模型，规范临床输血决策的客观必要性、风险效益与情境整合路径。最终，研究整合上述模型，提出“多层联动与反馈”整合模型，阐明了从政策环境、地区供应、社会动员、医院应用到临床决策 5 个层级间的双向传导与反馈机制。**结论** 构建了血液管理的系统动力学模型，通过界定关键变量与逻辑关联，系统解析了其运行机制。该整合框架贯通了地区供应、无偿献血、医院用血及临床决策等多层级，揭示了其内在联动关系。未来工作应运用系统思维，协同加强供给侧动员、需求侧管理、系统调控与决策规范化，以构建安全、高效、可持续的血液保障体系。

关键词：血液管理；血液供应；无偿献血；临床用血；输血决策；模型

中图分类号：R457.1 **文献标识码：**A **文章编号：**1004-549X(2026)6-0699-12

DOI：10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2026.06.001

A blood management system from a systemic perspective：development of an integrated model from regional blood supply to clinical transfusion decision-making

ZHU Changtai[1], *SUN Yunhua*[2], *ZHANG Lanjun*[2], *HUANG Long*[1], *LI Qinyun*[1], *TANG Heshan*[3], *ZANG Yan*[3], *LIN Junjie*[2], *QIAN Baohua*[3].

1. *Department of Transfusion Medicine, The Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai* 200233, *China*; 2. *Shanghai Blood Center, Shanghai Blood Management Office, Shanghai* 200051, *China*; 3. *Department of Transfusion Medicine, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University, The Shanghai Quality Control Center of Transfusion Medicine, Shanghai* 200433, *China*.

Joint-first authors: *ZHU Changtai, SUN Yunhua, ZHANG Lanjun*

Co-corresponding authors: *ZHU Changtai, Email*: *zct*101@163.*com*; *QIAN Baohua, Email*: *qianbh*1963@163.*com*; *LIN Junjie, Email*: *linjunjie@sbc.org.cn*; *ZANG Yan, Email*: *zangy*369@163.*com*

Abstract: Objective To address systemic challenges in the blood system, such as supply-demand imbalance, inefficient allocation, and inappropriate clinical use, while bridging gaps in current theories regarding the integration of social mobilization, institutional practice, and policy coordination. It sought to construct a system dynamics model spanning from macro to micro levels to analyze the blood management system holistically. **Methods** Key variables were identified by a

基金项目：上海市卫健委 2025 年卫生健康政策研究课题项目（2025HP42）

并列第一作者简介：朱长太（1971-），男，主任技师/教授，Email：zct101@163.com；孙蕴华（1973-），女，副主任护师，Email：sunyunhua@sbc.org.cn；张兰珺（1987-），女，主管技师，Email：zhanglanjun@sbc.org.cn

共同通信作者：朱长太，Email：zct101@163.com；钱宝华，Email：qianbh1963@163.com；林俊杰，Email：linjunjie@sbc.org.cn；臧艳，Email：zangy369@163.com

systematic literature search in both Chinese and English databases. An improved Delphi method was then employed to conduct expert consultations across different fields, leading to the selection and determination of core variable sets for each sub-model. Furthermore, by defining their logical relationships, a system dynamics model was constructed to systematically analyze the operation mechanism of the blood management system. **Results** Four core sub-models were developed:1) A macro "Dynamic Balance" model quantifying regional supply-demand equilibrium and inventory control; 2) a mobilization "Three-Layer Funnel" model analyzing how socio-cultural factors, service channels, and policy incentives influence donation behavior; 3) an institutional "Dual-Cycle Regulation" model revealing hospital blood usage is driven by both disease burden (demand cycle) and management practices (regulation cycle); and 4) an individual "Three-Layer Filter" model standardizing clinical transfusion decisions based on necessity, risk-benefit, and context. These were integrated into a "Multi-Layer Linkage and Feedback" model, elucidating bidirectional interactions among five levels: policy environment, regional supply, blood station mobilization, hospital application, and clinical decision-making. **Conclusion** This study constructed a system dynamics model for blood management. By defining key variables and their logical relationships, it systematically analyzes the system′s operational mechanism. The integrated framework connects multiple levels—regional supply, voluntary donation, hospital blood use, and clinical decision-making—revealing their intrinsic linkages. Future efforts should employ systems thinking to synergistically enhance supply-side mobilization, demand-side management, systemic regulation, and decision standardization to build a safe, efficient, and sustainable blood security system.

Key words: blood management; blood supply; voluntary blood donation; clinical blood use; transfusion decision-making; model

血液作为无法人工合成、且具有严格时效性的战略性医疗资源,其安全、稳定与高效供给是公共卫生体系的核心支柱,直接关系国民健康安全与应急救治能力。当前,全球血液系统面临多重挑战:供需结构性失衡持续加剧,区域调配响应滞后,临床用血合理性不足,叠加人口结构变迁,气候风险及突发公卫事件冲击,传统“环节割裂、单点优化”的管理模式已难以应对系统性风险[1-5]。当前相关研究存在明显局限性:世界卫生组织(WHO)框架侧重于技术标准与安全监测,对社会动员及政策协同的关注不足[6-7];患者血液管理(patient hematologic management,PBM)模型以临床决策优化为核心,却未能与上游供应逻辑相衔接[8-9];献血行为研究多局限于个体心理动机层面(如计划行为理论),缺乏与宏观制度及机构实践的动态关联[5,10]。鉴于此,本研究旨在明确影响地区血液供应平衡、无偿献血率、医疗机构用血量及患者输血决策等核心变量及其相互作用机制,进而构建系统动力学模型(亦称概念框架性模型)。该模型将通过实现跨层级反馈,使隐性管理逻辑得以显性化与可量化,并深度融入国内政策实践,从而有效弥补相关理论的不足。本研究不仅可为血液管理提供“从血管到血管”的全链条理论工具,亦能为全球特别是发展中国家优化血液系统治理贡献中国方案。

1 资料与方法

1.1 文献检索与证据综合

为全面识别影响血液管理系统各环节的关键变量,我们进行了系统性的文献检索与综述。检索主流中英文文献数据库,包括 PubMed、Web of Science、中国知网(CNKI)、万方数据知识服务平台。围绕 4 个核心领域构建检索式,涉及地区血液供应平衡基本检索式为:("blood supply" or "blood inventory" or "blood shortage") and ("management" or "model")。涉及无偿献血动员基本检索式为:("blood donation" or "voluntary non-remunerated blood donation") and ("determinant" or "factor" or "rate")。涉及医疗机构用血基本检索式为:("blood utilization" or "transfusion practice" or "patient blood management") and ("hospital" or "clinical")。涉及患者输血决策基本检索式为:("transfusion decision" or "transfusion trigger") and ("clinical" or "factor")。本研究检索截止日期 2025 年 12 月 31 日,纳入与排除标准:纳入中英文原创研究、综述、系统评价、及权威指南;排除个例报告、新闻报道及非学术性文章。

1.2 资料提取与变量池构建

由 2 名研究者独立筛选文献、提取数据并交叉核对。从符合标准的文献中,提取所有被提及的影响因素、关联变量及作用机制描述。初步汇总形成

1 个潜在变量的“初始变量池”。随后,通过小组讨论,合并同义变量,并依据其属性(如可测量性、影响力、逻辑层次)进行初步归类,为专家讨论提供结构化基础。

1.3 专家共识与模型构建

基于文献梳理的变量池,通过多轮专家咨询,对变量进行筛选、权重判断,并构建逻辑模型。进一步,邀请来自血液管理、临床输血、循证医学等不同领域的专家组成咨询小组,确保视角的多元性。最后,采用改良德尔菲法进行 1 次专家咨询和 1 次共识会议确定入选变量集(子集)、变量之间关系以及模型框架合理性等。

1.4 模型整合与框架形成

在 4 个子模型(供应平衡“动态天平”模型、无偿献血率“三层漏斗”模型、医疗机构用血“双环调节”模型、个体决策“三重滤网”模型)通过专家共识确立后,研究进入整合阶段(构建概念框架模型)。研究团队(包括主要研究者及核心专家成员)通过讨论,分析子模型之间的输入输出关系。例如,识别出“献血率”是“供应侧”的核心输入变量,“医院平均输血量”是“需求侧”的核心构成部分,而“血液供应情况”作为资源约束条件反馈影响“医院管理策略”和“个体决策情境”。这些关联被明确标注和定义。进一步基于关联分析,绘制出展示 4 个子模型相互连接关系的总体框架图。该框架明确了系统的宏观(地区)、中观(机构)、微观(个体)3 层级结构,以及供给侧与需求侧 2 大流向。随后研究团队撰写了详细的框架阐述文本,对层级间的传导机制、反馈回路以及系统平衡与失衡的动态原理进行了解释。接下来将初步形成的整合框架及完整论述文本提交给专家小组核心成员审阅,并根据专家反馈对模型进行了适当调整,最终形成整合模型框架。

2 结果

2.1 血液管理体系模型的主要变量

基于文献分析和专家共识意见,血液管理体系模型的主要变量分为 4 个层次:1)宏观供应层:包括供给侧(献血率、采集能力)、需求侧(医疗负荷、用血效率)及调节变量(库存管理、调配机制、政策协调);2)献血动员层:涵盖环境层(社会信任、人口结构)、渠道层(服务可及性、体验)和激励层(政策保障、荣誉体系);3)机构用血层:由需求生成环(疾病谱、手术强度)与管理调节环(血液管理、保护技术)构成;4)个体决策层:包含患者状况(失血量、生理储备)、医疗干预(监测评估、替代方案)及情境因素(患者意愿、资源可及性)三重滤网。各层变量通过“献血率-用血量-库存平衡-临床决策”实现系统联动,形成从“血管到血管”的闭环管理体系。具体见表 1。

2.2 地区血液供应平衡的“动态天平”模型

基于对文献[5-6,11-28]的分析,影响血液供应平衡的核心变量包括:1)供给侧变量:包括“献血者基础与行为”(如千人口献血率、固定献血者比例、季节性波动)和“采供血机构能力与效率”(如采血点网络、血液处理产能、筛查报废率);2)需求侧变量:包括“地区医疗负荷与疾病谱”(如高等级医院集中度、突发事件)和“临床用血实践与管理”(如平均输血量、合理用血水平)。这些变量决定了临床的“消耗量”;3)平衡与调节变量:包括“库存管理水平”(如安全库存设定、信息化预警)和“物流与调配效率”(如跨区域调剂机制),以及“政策与协调机制”。具体见表 1。

该模型将地区血液系统简化为 1 个动态平衡系统,见图 1。“供给侧”变量(如献血率、采血能力)和“需求侧”变量(如医疗负荷、临床用血实践)共同作用于核心的“库存池”。“外部调节器”(如调配机制、预警系统)则通过干预供需,维持库存平衡。“动态天平”模型显示,失衡(血荒或报废)源于供给收缩、需求激增及调节失灵的共同作用,维持平衡不能仅靠呼吁献血(扩大供给),必须系统化管理,其关键在于 3 个方面:1)稳定供给侧:发展固定献血者队伍,平抑季节性波动;2)管理需求侧:在医院层面推行患者血液管理和合理用血,这是“节流”的关键;3)优化调节器:建设智慧化的库存预警与调配系统,实现精准预约和快速应急响应。

2.3 地区无偿献血率的“环境-渠道-激励”3 层漏斗模型

根据对文献[10,29-45]的分析,影响地区无偿献血率的核心变量包括:1)社会文化与人口结构(环境层),公众对献血的科学认知、对血液管理体系的信任度是基石。适龄健康人口比例、人口教育水平构成潜在献血者池的基本面。媒体舆论环境对塑造献血文化至关重要;2)组织管理与服务(渠道层),献血的可及性(固定点与流动车布局)和服务的体验感(流程便捷、服务友善、后续关怀)是将意愿转化为行为的关键催化剂。团体献血的组织

效能是稳定血源的重要补充;3)政策激励与保障(激励层),便捷、普惠的用血返还政策以及地方激励措施(如“三免政策”等)是提升献血者获得感和保留率的重要制度杠杆,见表 1。

表 1　纳入血液管理体系动力学模型的变量

Table 1　Variables included in the hemodynamic model of the blood management system

变量类别		具体变量
模型 1 地区血液供应“动态天平”模型	供给侧变量 (血液采集与入库)	1. 献血者基础与行为 无偿献血率/千人口献血率 献血者结构[(固定/首次/团体/街头)比例] 季节性/气候因素 重大公共事件(疫情、灾害) 2. 采供血机构能力与效率 采血点网络覆盖与可及性 血液采集、检测、制备、储存与运输的产能与周转效率 血液筛查报废率
	需求侧变量 (临床申请与使用)	1. 地区医疗负荷与疾病谱 地区总体诊疗量(住院患者数、手术量) 高等级医院/重点专科集中度 突发事件负荷(重大事故、群体性事件) 2. 临床用血实践与管理 医院平均输血量/用血效率 合理用血水平
	平衡与调节变量 (系统协同与库存管理)	1. 库存管理水平 安全库存水平设定 库存结构合理性 信息化与预警系统 2. 物流与调配效率 区域内血液调配机制 血液冷链物流的覆盖与速度 3. 政策与协调机制 政府主导的多部门协调能力 医保支付政策(如按病种付费)
模型 2 “环境-渠道-激励”3 层漏斗模型	社会文化与人口结构变量 (基础土壤/环境层)	1. 公众认知与信任度 献血知识普及率与科学性 对血液管理体系的信任度 利他主义与社会责任感文化氛围 2. 人口统计学特征 适龄健康人口比例 人口流动性 教育水平结构 3. 媒体与舆论环境 正面宣传的常态化与创新性 舆情管控与危机应对能力
	组织管理与服务变量 (核心引擎/渠道层)	1. 献血可及性与便利度 固定采血点密度与布局 流动采血车运行频率与规划 工作时长与弹性 2. 献血服务体验 流程便捷化与信息化水平 工作人员专业与友善度 场所环境与舒适度 后续关怀与反馈(结果通知、去向告知) 3. 团体献血组织效能 机关、企事业单位、高校的年度献血计划执行率 社会组织的动员能力与网络覆盖
	政策激励与保障变量 (制度杠杆/激励层)	1. 献血者权益保障政策 免费用血返还政策的便捷性与普惠性 地方激励措施及知晓率 2. 荣誉表彰体系 国家级、地方级表彰奖项的知晓度和荣誉感 单位内部对献血者的表彰与激励 3. 财政与资源保障 政府对采供血机构的投入

(转下页)

（续上页）

变量类别		具体变量
	个体心理与即时情境变量（微观触发点）	个人动机（利他、健康检查、纪念日等） 感知风险与障碍（疼痛、时间、过往经历） 社会影响（亲友同事行为、公众人物示范）
模型 3 医疗机构用血量“需求-管理”双环调节模型	需求侧变量（输血需求“基本盘”）	疾病谱与病例严重度 危重患者占比（严重创伤、急性大失血、大肿瘤手术、心血管大手术、血液系统恶性肿瘤患者比例） 慢性输血依赖患者比例（中重度慢性贫血、终末期肾病透析、肿瘤化疗患者比例） 治疗强度与复杂度 病例组合指数（CMI） 三四级手术率 高出血风险手术占比 肿瘤化疗/放疗强度与疗程 多学科协作诊疗中心数量
	供给侧与调节变量（如何满足与管理需求）	1. 血液管理水平 制度与文化层：合理用血评价体系构建、输血委员会履职情况、临床医师培训考核。 技术应用层：患者血液管理全程实施率、床旁快速凝血功能监测应用率、信息化与决策支持系统整合度。 2. 血液保护技术水平 自体血技术应用（储存、稀释、回收） 微创/精准外科技术普及率 药物性止血措施规范使用率 成分输血与精准输血能力 3. 外部环境与资源变量 血液供应保障情况 医保支付与控费政策 区域急救网络定位
模型 4 患者个体输血决策“三重滤网”路径模型	患者自身状况与疾病变量（决策基础/第 1 层滤网）	失血情况：急性失血量与速度；慢性失血程度 贫血相关变量：血红蛋白水平；贫血病因与可逆性；临床症状（组织缺氧表现） 生理储备与代偿能力：年龄；心肺基础疾病；代谢率与氧耗 凝血功能状态：血小板计数与功能、凝血指标等
	医疗干预与监测变量（决策过程/第 2 层滤网）	1. 治疗策略与目标：限制性输血策略应用；目标导向的液体与血液管理；病因治疗有效性 2. 实时监测与评估：动态血红蛋白监测；组织灌注与氧合指标；床旁快速凝血监测 3. 替代方案与风险权衡：药物替代治疗可用性；输血相关风险评估；自体血技术应用
	情境与主观变量（决策调节/第 3 层滤网）	1. 患者及家属意愿 2. 临床医生的经验与偏好 3. 即时资源可及性（血液供应） 4. 医疗机构的制度与文化

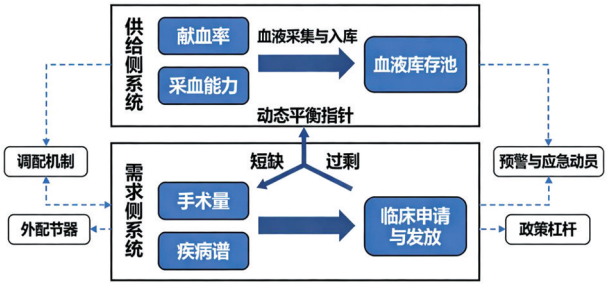


图 1　地区血液供应平衡的“动态天平”模型

Figure 1　The "Dynamic Balance" model of regional blood supply equilibrium

此模型解释了献血行为的发生与持续机制，见图 2。“环境层”（社会文化、信任）决定了潜在献血人群的规模和意愿；“渠道层”（可及性、服务体验）决定了意愿转化为行动的效率；“激励层”（权益保障、荣誉）是影响献血者能否转化为固定献血者的重要因素。“3 层漏斗”模型的转化逻辑与实践应用模型表明，提升献血率需进行精准诊断和干预。若献血率低，需判断问题主要存在于哪一层：是环境层的信任缺失，需加强科普与公关；是渠道层的服务不便，需优化网点与服务；还是激励层的吸引力不足，需完善政策。目标是构建 1 个能自我维持、正向循环的献血者生态系统。

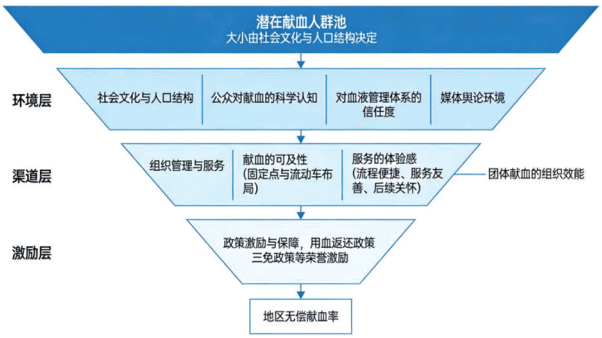


图 2　地区无偿献血率的“环境-渠道-激励”3 层漏斗模型

Figure 2　Three-layer funnel model of "Environment-Channel-Incentive" for regional voluntary blood donation rates

2.4　医疗机构用血量的“需求-管理”双环调节模型

根据对文献[8-9,46-60]的分析，决定医疗机

构用血量的核心变量包括：1）需求生成环（内在驱动），由医院收治患者的疾病严重程度（CMI）、高出血风险手术比例（三四级手术率）、重点患者（严重创伤、急性失血、慢性贫血等）比例决定，其构成了用血需求的“刚性”基础；2）管理调节环（能动调控），由医院的血液管理（如合理用血评价体系、患者血液管理）和血液保护技术水平（如自体血回输、微创手术、药物止血）决定，其可对刚性需求进行有效抑制或优化。具体见表 1。

该模型揭示了医疗机构用血量是“需求生成环”（疾病谱、手术强度）与“管理调节环”（血液管理、保护技术）相互作用的结果，见图 3。“需求环”决定了用血的理论基线，“管理环”则能对该需求进行有效抑制或优化。2 者共同通过“临床决策点”输出实际平均输血量。“双环调节”模型为医院管理者用血管理提供了诊断工具。若医院平均输血量过高，应分析是“需求环”过强（患者病情过重），还是“管理环”过弱（技术和管理落后）。干预方向也应由此确定：对于“管理环”弱的医院，重点在于加强体系建设和技术培训；对于“需求环”特殊（如区域创伤中心）的医院，则应在保障供血的同时，发展高效的血液保护技术。

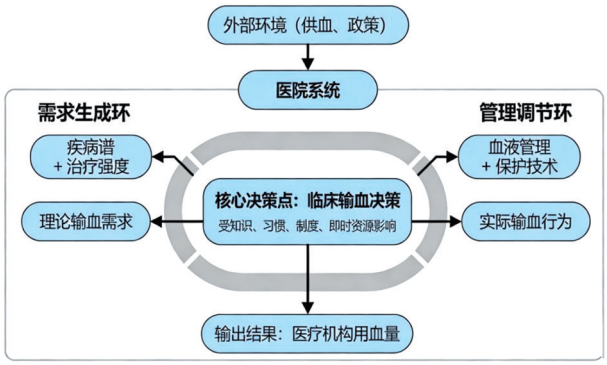


图 3　医疗机构用血量的“需求-管理”双环调节模型

Figure 3　The "Demand-Management" dual-loop regulation model for blood usage in medical institutions

2.5　患者个体输血决策的“三重滤网”路径模型

根据对文献[7,61-74]的分析，患者输血决策核心变量包括：1）患者自身状况，失血量、血红蛋白水平、临床症状、生理储备、凝血功能等客观指标；2）医疗干预与监测，是否采用限制性输血策略、目标导向管理，以及动态监测结果；3）替代方案与情境，药物替代治疗可行性、输血风险、患者意愿、血液资源可及性等，见表 1。

此模型描绘了临床决策的动态过程，见图 4。第 1 层“客观必要性滤网”筛选出紧急输血病例；第 2 层“风险效益平衡滤网”是权衡输血利弊与替代方案的核心；第 3 层“情境与偏好整合滤网”纳入患者意愿、资源等现实因素。决策后进入“再评估循环”，形成持续监测与调整的闭环。“三重滤网”决策路径模型将复杂的决策过程结构化：第 1 层滤网（客观必要性）处理紧急情况，确保生命安全；第 2 层滤网（风险效益平衡）是决策核心，要求医生权衡输血获益与风险，并评估所有替代方案，体现了医学专业性；第 3 层滤网（情境与偏好整合）将决策置于现实医疗环境中，尊重患者自主权并考虑资源约束。决策后的“再评估循环”确保了治疗的动态调整。此模型有助于规范临床思维、进行质量改进和促进医患沟通。

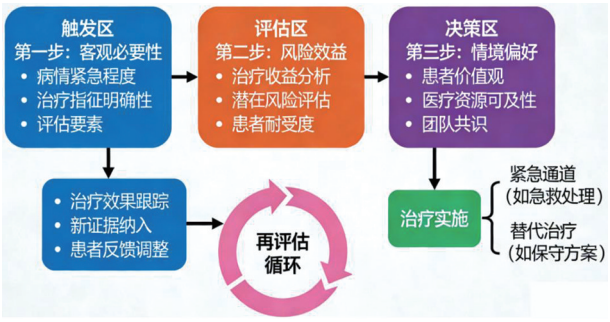


图 4　患者个体输血决策的“三重滤网”路径模型

Figure 4　The "Triple Filter" path model for individual blood transfusion decision-making in patients

2.6　血液管理体系“多层联动与反馈”整合模型

本模型将整个血液管理体系划分为 5 个相互关联的层级，见图 5。第 1 层（微观-执行层）：临床决策单元，即模型 4。这是所有政策、资源和管理的最终作用点，由临床医生完成具体的输血决策。第 2 层（中观-机构层）：医院应用系统，即模型 3。它汇聚了无数个第 1 层的决策，形成医院的用血模式和效率水平，是血液的“需求转化中心”和“效率调节中心”。第 3 层（中观-采集层）：血站动员系统，即模型 2。它负责将社会意愿转化为实际的血液产品，是血液的“供给生产中心”。第 4 层（宏观-系统层）：地区供应系统，即模型 1。它如同 1 个“中央水池”，接收第 3 层的供给，应对第 2 层的需求，并通过库存和调配维持动态平衡，是整个体系稳定性的“平衡器”。第 5 层（宏观-战略层）：政策与战略环境。本研究中 4 个模型共同依赖的外部顶层设计，包括医保政策、财政投入、荣誉体系、多部门协调机制等，它设定规则、提供资源并引导整个系统的运行方向。

本研究构建的血液管理体系模型框架，呈现为

1 个多层联动、双向反馈的有机整体,见图 5。4 个子模型并非孤立存在,而是构建了 1 个从微观临床决策至宏观系统平衡的完整逻辑链条:1)自下而上的需求汇聚路径:微观层面的患者个体输血决策(模型 4)在机构层面进行整合与均值化处理,最终形成医院特有的用血效率水平(模型 3)。各医院的临床用血总需求,进而汇聚成为地区血液需求侧的核心构成部分(模型 1);2)自上而下的供给与约束路径:地区无偿献血参与度(模型 2)从根本上决定了血液采集与供给能力,是供应侧的源头(模型 1)。而宏观层面的血液供应状况,会作为关键的外部资源变量与约束条件,反向作用于医院层面的用血管理策略(模型 3)以及临床终端的个体化决策情境(模型 4)。该框架揭示了血液管理系统的动态循环特性:临床实践活动塑造需求侧规模,社会动员机制决定供给侧能力,而血液供给的充裕程度又反向调节临床用血行为。系统中任 1 环节的波动均通过联动网络传导至整体,本模型框架图为解析血液供应紧张成因、制定系统性干预策略提供了清晰的理论参照。

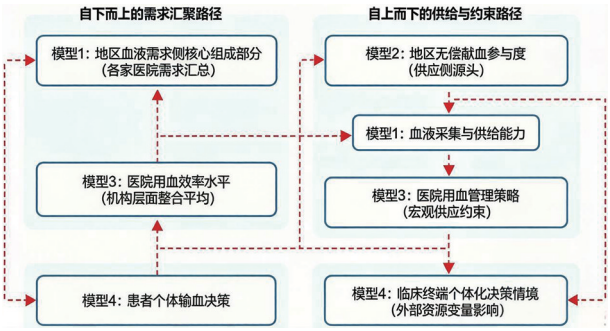


图 5 血液管理体系“多层联动与反馈”整合模型

Figure 5 Integrated model of the blood management system featuring "Multi-level Coordination and Feedback"

3 讨论

本研究构建的血液管理体系框架,揭示了该系统作为 1 个从微观决策到宏观平衡的多层级、动态耦合的有机整体。

在宏观层面,地区血液供应的稳定依赖于供给侧、需求侧与系统调节器 3 者的动态平衡,可形象地喻为“动态天平”。供给侧的核心在于献血者基础与采供血机构效能,决定了血液的“入库量”;而需求侧则由地区医疗负荷与临床用血实践主导,决定了“消耗量”。2 者间的匹配并非自动实现,关键在于“库存管理”与“政策协调”等调节变量所构成的缓冲与控制系统。该模型的重要启示在于,解决“血荒”不能仅聚焦于呼吁献血的“开源”,更需通过医院层面的合理用血进行“节流”,并依托信息化预警与高效调配机制这一“智慧调节器”,实现从被动响应到主动精准管理的转变。

作为供给源头,地区无偿献血率的提升是一个涉及社会文化、组织服务与政策激励的系统工程。“三层漏斗”模型清晰地刻画了这一转化路径:潜在献血者需先后通过“环境认知”、“可及体验”与“激励保留”3 层过滤,才能转化为稳定的献血资源。这意味着,低献血率现象需进行精准归因——是公众信任缺失、服务便利性不足,还是激励保障乏力?相应的干预策略也应分层施策:政府需牵头构建可信赖的献血文化,血站需优化服务网络与体验以打通“最后 1 公里”,而制度化的权益保障则是维系献血者忠诚度、构建良性生态系统的基石。

在医院这一中观用血终端,其临床用血量并非单一因素决定,而是“需求生成环”与“管理调节环”双重驱动的结果。前者由收治病患的疾病谱与手术强度等内在因素构成,具有一定的刚性;后者则涵盖血液管理体系建设与血液保护技术应用,具备显著的能动调节潜力。这一“双环调节”模型为医院管理者提供了关键的诊断透镜:用血量异常时,应辨别是源于收治患者过重的客观需求,还是管理水平薄弱的主观原因。这指导资源应精准投放——或强化管理培训,或发展专项保护技术,从而实现医疗质量与资源效率的协同提升。

在微观层面,所有宏观策略最终需经由临床医生的个体化决策落地。“三重滤网”决策路径模型将这一复杂过程结构化,强调其并非单纯基于血红蛋白数值的判断。它历经客观必要性评估、风险效益精细权衡、以及具体情境整合 3 个递进阶段,并嵌入持续的“再评估循环”。此模型的核心价值在于,它将隐性的临床思维显性化与规范化,不仅助力培养临床医师的循证决策能力,也为输血病例质量审查、医患共享决策提供了清晰的沟通框架与改进路径。

尤为重要的是,本研究中血液管理体系的 4 个子模型并非孤立存在,而是构成了 1 个逻辑严密的生态系统。微观的临床决策(模型 4)汇集成医院的用血实践(模型 3),进而塑造地区的血液需求(模型 1);而地区的献血动员成效(模型 2)则决定了血液的供给能力(模型 1)。同时,宏观的血液供应状况会作为关键资源约束,反向影响医院的管理

策略与临床决策的情境。这种多层级、双向的反馈机制揭示,任何环节的波动都会在系统内传导与放大,从而解释了“血液供应紧张”常常是多因素耦合导致的系统性失灵。

相较于现有血液管理模型,本模型具备 3 大特点:其一为系统整合性,突破 WHO 血液安全框架(侧重技术环节)、PBM 体系(聚焦临床)及献血行为理论(如计划行为理论)的单一局限,首次建立“宏观-动员-机构-个体”四层嵌套闭环体系,贯通从社会动员至临床决策的全链条[5-10];其二为动态机制显性化,借助“动态天平”量化供需弹性、“三层漏斗”解析行为转化、“双环调节”揭示机构内生反馈,将隐性管理逻辑转化为可视、可调的耦合变量,优于传统静态描述模型;其三为本土实践适配性,深度融合中国政策驱动型献血体系、区域血液调配机制及团体献血特色,将“社会信任”“政策强度”等情境变量纳入核心架构,填补西方理论在集体动员场景中的解释空白,为发展中国家血液系统优化提供可迁移的理论工具[41,45]。

血液管理体系“多层联动与反馈”整合模型具有多方面的应用价值。它为政策制定者提供了理解血液安全问题的系统视角,倡导涵盖激励、节流与调配的综合性政策而非单点干预;为医院管理者区分了影响用血量的“可控”与“不可控”因素,助力精准管理;为血站部门提供了从动员到保留的系统性工作蓝图;同时也为临床教育带来了结构化的决策训练工具。我们认为,未来研究可基于此框架(核心变量、变量集、子集变量等)进行数据模拟、建模量化、评价和预测,从而推动血液管理体系向更安全、高效、韧性的方向演进,以保障血液安全。

本研究构建的系统动力学模型,系基于循证医学证据并结合专家经验所形成的理论模型,其有效性尚需通过大样本量实证数据予以定量验证及参数校准。未来研究可将此框架转化为结构方程模型或开展定量研究,借助真实世界数据对其进行检验与模拟,进而得出更为精准的预测。

本研究构建了 1 套基于系统视角的系统动力学模型,通过界定关键变量、阐明其逻辑关联,系统解析了血液管理体系的运行机制。该模型表明,血液管理是 1 项涵盖社会动员、系统协调、医院实践与临床决策的复杂系统工程。本研究提出的整合框架,贯通了地区血液供应平衡、无偿献血动员、医疗机构用血管理与个体临床输血决策等多个层级,揭示了其内在逻辑与动态联结。未来的血液管理工作应超越局部优化,运用系统思维,协同加强供给侧动员、需求侧管理、系统调控与临床决策规范化,共同推动建设安全、高效、可持续的血液保障体系,从而确保每 1 份血液资源在正确的时间用于最需要的患者。

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

朱长太:研究概念提出、研究设计、资料分析、文章撰写和修改;孙蕴华、张兰珺:文献检索、数据整理、资料分析和图表绘制;黄龙:数据提取;黎勤云、唐河山:专家意见征询;臧艳:文章撰写和修改;林俊杰:研究项目协调、研究设计、论文修改和审校;钱宝华:研究项目指导、研究设计、资料分析、文章修改和审校。

[参考文献]

[1] World Health Organization. Blood safety and availability [R/OL]. (2025-05-30)[2026-03-28]. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blood-safety-and-availability.

[2] LIU W J, CHEN Y Y, HSU L I, et al. An imbalance in blood collection and demand is anticipated to occur in the near future in Taiwan[J]. J Formos Med Assoc, 2022, 121(8):1610-1614.

[3] VIENNET E, DEAN M M, KIRCHER J, et al. Blood under pressure:how climate change threatens blood safety and supply chains[J]. Lancet Planet Health, 2025, 9(4):e304-e313.

[4] VAN DENAKKER T A, AL-RIYAMI A Z, FEGHALI R, et al. Managing blood supplies during natural disasters, humanitarian emergencies, and pandemics:lessons learned from COVID-19[J]. Expert RevHematol, 2023, 16(7):501-514.

[5] 潘一铭. 无偿献血内在动机及献血者服务与保留策略研究[D]. 北京协和医学院, 2025.
PAN Y M. A study on intrinsic motivation in voluntary blood donation and strategies for donor services and retention[D]. Peking Union Medical College, 2025.

[6] DHINGRA N, HAFNER V. Safety of blood transfusion at the international level:The role of WHO[J]. Transfus Clin Biol, 2006, 13(1-2):200-202.

[7] World Health Organization. Global status report on blood safety and availability 2016[R/OL]. (2027-05-30)

[2026-03-28]. https://apps. who. int/iris/handle/10665/254987.

[8] OLIVER J C, GRIFFIN R L, HANNON T, et al. The success of our patient blood management program depended on an institution-wide change in transfusion practices [J]. Transfusion, 2014, 54(10Pt2):2617-2624.

[9] KASERER A, RöSSLER J, BRAUN J, et al. Impact of a patient blood management monitoring and feedback programme on allogeneic blood transfusions and related costs[J]. Anaesthesia, 2021, 74(12):1534-1541.

[10] YUAN S, HOFFMAN M, LU Q, et al. Motivating factors and deterrents for blood donation among donors at a university campus-based collection center[J]. Transfusion, 2011, 51(11):2438-2444.

[11] 湛勇. 影响无偿献血行为的相关因素研究[D]. 重庆医科大学, 2011.
ZHAN Y. Study on related factors of blood donation behavior[D]. Chongqing Medical University, 2011.

[12] 屠小明. 无偿献血动机评价量表编制及献血行为影响因素研究[D]. 南京医科大学, 2014.
TU X M. Development of evaluation scale for motivation of non-remunerated blood donation and study of influencing factors on donation behavior[D]. Nanjing Medical University, 2014.

[13] 高美英, 云冠峰. 应用数学模型进行血液采集量的预测[J]. 临床血液学杂志(输血与检验), 2014, 27(6):1079-1080.
GAO M Y, YUN G F. Application of prediction mathematical model for blood collection quantity[J]. J Clin Hematol (Blood Transfus Lab Med), 2014, 27(6):1079-1080.

[14] 李其田, 马海燕, 张敏. 两次地震潍坊地区献血人群结构变化与分析[J]. 医学检验与临床, 2013, 24(6):73-74.
LI Q T, MA H Y, ZHANG M. Changes and analysis of blood donor population structure in Weifang area after two earthquakes[J]. Med Lab Clin, 2013, 24(6):73-74.

[15] 田海燕, 邓荣珍, 魏胜男. 十堰市农村无偿献血 SWOT 分析及对策建议[J]. 中国输血杂志, 2019, 32(2):193-195.
TIAN H Y, DENG R Z, WEI S N. Countermeasures of developing voluntary blood donation in rural areas of Shiyan, using SWOT analysis[J]. Chin J Blood Transfusion, 2019, 32(2):193-195.

[16] KATZ L M, DONNELLY J J, GRESENS C J, et al. Report of a workshop on ensuring sustainable access to safe blood in developing countries: International Blood Safety Forum, March 24, 2017[J]. Transfusion, 2018, 58(5):1299-1306.

[17] CUSTER B, ZOU S M, GLYNN S A, et al. Addressing gaps in international blood availability and transfusion safety in low- and middle-income countries: a NHLBI workshop[J]. Transfusion, 2018, 58(5):1307-1317.

[18] HOORN L C, GRAF C, MERZ E M. Money matters: the association between blood donation rates and healthcare system quality across 171 countries[J]. Transfusion, 2024, 64(8):1448-1458.

[19] DIVKOLAYE N, ARABKHAZAELI A, HAJIBEIGI B, et al. The impact of COVID-19 on blood safety and availability in the Islamic Republic of Iran[J]. East Mediterr Health J, 2022, 28(1):9-15.

[20] RAGHUWANSHI B, BEHERA P, SINGH P, et al. Blood supply management amid COVID-19 pandemic: challenges and strategies[J]. J Family Med Prim Care, 2022, 11(6):2363-2368.

[21] GREINACHER A, FENDRICH K, ALPEN U, et al. Impact of demographic changes on the blood supply: Mecklenburg-West Pomerania as a model region for Europe[J]. Transfusion, 2007, 47(3):395-401.

[22] GREINACHER A, FENDRICH K, HOFFMANN W. Demographic changes: the impact for safe blood supply [J]. Transfus Med Hemother, 2010, 37(3):141-148.

[23] SAWADOGO S, BAGUIYA A, YOUGBARE F, et al. Seroprevalence and factors associated with IgG anti-DENV positivity in blood donors in Burkina Faso during the 2016 dengue outbreak and implications for blood supply[J]. Transfus Med, 2019, 30(1):37-45.

[24] XU B, SHAO Y F, PATIMAN Y, et al. Explaining donor lapse in voluntary blood donation: a grounded theory study from China [J]. Soc Sci Med, 2026, 403:119420.

[25] SIMONETTI A, EZZELDIN H, WALDERHAUG M, et al. An inter-regional US blood supply simulation model to evaluate blood availability to support planning for emergency preparedness and medical countermeasures [J]. Disaster Med Public Health Prep, 2017, 12(2):201-210.

[26] HALAWANI A J. The impact of blood campaigns using mobile blood collection drives on blood supply management during the COVID-19 pandemic [J]. Transfus Apher Sci, 2022, 61(3):103354.

[27] WAJNAT A, TOUNSI, BUSHRA S, et al. Donor retention and return patterns in Saudi Arabia: Implications for blood safety and supply stability [J]. Transfus Med, 2025, 36(3):222-230.

[28] FISHER J T, CIUHA U, MEKJAVIC I B. The combined effects of temperature and posture on regional blood flow

and haemodynamics[J]. J Therm Biol, 2024, 123: 10397.

[29] 马红丽, 李会侠, 朱丽莉, 等. 洛阳地区 2798 份无偿献血影响因素调查问卷统计分析[J]. 中国输血杂志, 2017, 30(8):944-946.
MA H L, LI H X, ZHU LL, et al. Statistical analysis of the questionnaire of the influencing factors of 2798 Unpaid Blood Donation in Luoyang[J]. Chin J Blood Transfusion, 2017, 30(8):944-946.

[30] 洪晓春, 谢桂芸, 柯蓉蓉, 等. 广州地区大学生群体重复献血影响因素调查分析[J]. 中国输血杂志, 2021, 34(9):1021-1025.
HONG X C, XIE G Y, KE RR, et al. Influencing factors related to repeated blood donation among college students in Guangzhou[J]. Chin J Blood Transfusion, 2021, 34(9):1021-1025.

[31] 张涛. 改善服务质量来提升团体献血满意度的实践及效果分析[J]. 医学理论与实践, 2020, 33(11): 1889-1890.
ZHANG T. Practice and effect analysis of improving group blood donation satisfaction by enhancing service quality[J]. J Med TheoryPract, 2020, 33(11):1889-1890.

[32] 李婉,肖光林, 李长清, 等. 基于面板向量自回归模型分析单采血浆站设置对无偿献血采集量的冲击[J]. 中国输血杂志, 2023, 36(7):618-622.
LI W, XIAO G L, LI C Q, et al. Analysis of the impact of setting up plasmapheresis station on the collection volume of voluntary blood donation based on panel vector autoregressive model[J]. Chin J Blood Transfusion, 2023, 36(7):618-622.

[33] 刘畅, 杨琳, 于晨, 等. 大学生献血动机及重复献血行为影响因素分析[J]. 中国卫生统计, 2024, 41(6):942-946.
LIU C, YANG L, YU C, et al. Analysis of blood donation motivation and influencing factors of repeated donation behavior among college students[J]. Chin J Health Stat, 2024, 41(6):942-946.

[34] 席光湘, 洪缨, 王乃红, 等. 成都地区大学生献血群体献血状况和影响因素分析[J]. 中国输血杂志, 2016, 29(9):979-982.
XI G X, HONG Y, WANG N H, et al. Analysis of blood donation situation and related influence factors in blood donation among college students in Chengdu[J]. Chin J Blood Transfusion, 2016, 29(9):979-982.

[35] 龚阳清, 谭景, 袁峥嵘, 等. 湘潭地区高职院校新生无偿献血认知现状和影响因素分析[J]. 临床医学研究与实践, 2025, 10(10):13-17.
GONG Y Q, TAN J, YUAN Z R, et al. Analysis of the cognitive status and influencing factors of voluntary blood donation among higher vocational college freshmen in Xiangtan area[J]. Clin Res Pract, 2025, 10(10):13-17.

[36] 潘智,郑键, 谢熙熙, 等. 新时代温州高校大学生无偿献血意愿及影响因素研究[J]. 重庆医学, 2021, 50(S1):6-8.
PAN Z, ZHENG J, XIE XX, et al. Study on free blood donation willingness and influencing factors of college students in Wenzhou in the new era[J]. Chongqing Med, 2021, 50(S1):6-8.

[37] 王淼, 魏晓梅, 张磊, 等. 保定地区无偿献血者招募的公益营销创新模式[J]. 医学与社会, 2019, 32(11):105-107.
WANG M, WEI X M, ZHANG L, et al. The innovative model of public welfare marketing recruited by unpaid blood donors in Baoding area[J]. Med Soc, 2019, 32(11):105-107.

[38] 王婷, 卢镇章, 李叶林, 等. 合肥市大学生无偿献血知信行现况及影响因素分析[J]. 中国校医, 2019, 33(2):92-94.
WANG T, LU ZZ, LI Y L, et al. Status of voluntary blood donation and its influencing factors among college students in Hefei city[J]. Chin J School Doctor, 2019, 33(2):92-94.

[39] 甄伟, 葛红卫, 王瑞, 等. 京津冀血站实验室血液检测不合格情况比较及分析[J]. 中国输血杂志, 2020, 33(3):179-183.
ZHEN W, GE H W, WANG R, et al. Investigation and analysis of the unqualified detection conditions of the blood station laboratories in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Chin J Blood Transfusion, 2020, 33(3):179-183.

[40] OUYANG J, BEI C H, HE B, et al. Factors influencing blood donation: a cross-sectional survey in Guangzhou, China[J]. Transfus Med, 2017, 27(4):256-267.

[41] LIN F, HUANG Y, HE X, et al. Research on the socioeconomic factors that influence the development of voluntary, non-remunerated blood donation in China-A correlation and regression analysis based on data from 2012 to 2018[J]. Health Sci Rep, 2023, 6(7):e1341.

[42] GONDWE A, CHIPETA E, HOSSEINIPOUR M C, et al. Facilitators of and barriers to blood donation among voluntary non-remunerated blood donors in sub-Saharan Africa: A scoping review[J]. Vox Sang, 2025, 120(6):546-556.

[43] SüMNIG A, FEIG M, GREINACHER A, et al. The role of social media for blood donor motivation and recruitment[J]. Transfusion, 2018, 58(10):2257-2259.

[44] WHO Expert Group. Expert consensus statement on a-

chieving self-sufficiency insafe blood and blood products, based on voluntary non-remunerated blood donation (VNRBD)[J]. Vox Sang, 2012, 103(4):337-342.

[45] WENG J Q, XU Y Z, XIE C B, et al. Research on the effectiveness and strategies of new media in promoting voluntary blood donation from a public health perspective in the post-pandemic era[J]. Front Public Health, 2024, 14(12):1436909.

[46] 赵会霞, 翟方丽, 王博航. 新冠肺炎疫情期间青岛地区临床用血分析及对策[J]. 中国输血杂志, 2020, 33(10):1096-1098.
ZHAO H X, ZHAI F L, WANG B H. Analysis and measures of clinical blood use in Qingdao, China, during the 2019 novel coronavirus (COVID-19) epidemic[J]. Chin J Blood Transfusion, 2020, 33(10):1096-1098.

[47] CHOW Y F, CHENG B C P, CHENG H K, et al. Hong Kong Society of Clinical Blood Management recommendations for implementation of patient blood management[J]. Hong Kong Med J, 2020, 26(4):331-338.

[48] 赵玉洁. 术中出血患者输血模式描述及血浆红细胞比例与术后结局关联探讨[D]. 北京协和医学院, 2022.
ZHAO Y J. Description of transfusion patterns in patients with intraoperative bleeding and association between plasma-to-red-blood-cell ratio and postoperative outcomes[D]. Peking Union Medical College, Beijing, 2022.

[49] 胡孟谋,张霞军, 袁红萍. 输血申请审核与输血后检查对临床用血量的影响[J]. 江苏医药, 2016, 42(19):2170-2171.
HU MM, ZHANG X J, YUAN H P. Effects of transfusion request audit and post-transfusion review on clinical blood utilization[J]. Jiangsu Med J, 2016, 42(19):2170-2171.

[50] 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.
FU Q, YANG P, MAO W. Investigation and analysis of influence of COVID-19 on blood collection and supply[J]. Chongqing Med, 2021, 50(24):4257-4260.

[51] 乐爱平, 刘威, 李建林, 等. 医疗机构临床用血计划质量管理权重要素探析及应用研究[J]. 中国输血杂志, 2015, 28(8):949-952.
YUE A P, LIU W, LI J L, et al. Research and application on weight factors of quality management of clinical usage plan of blood in medical institutions[J]. Chin J Blood Transfusion, 2015, 28(8):949-952.

[52] 妇科围手术期患者血液管理共识专家组, 北京妇产学会月经病管理分会. 妇科围手术期患者血液管理专家共识(2024 版)[J]. 中国妇产科临床杂志, 2024, 25(4):380-384.
Expert Consensus Panel on Patient Blood Management in Gynecologic Perioperative Setting; Menstrual Disorders Management Branch of Beijing Society of Obstetrics and Gynecology. Expert consensus on patient blood management in gynecologic perioperativesetting (2024 edition)[J]. Chin J Clin Obstet Gynecol, 2024, 25(4):380-384.

[53] 中华医学会胸心血管外科学分会. 心脏大血管外科止血材料、药物及血液制品应用专家共识[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2022, 38(9):513-535.
Chinese Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery. Chinese expert consensus on the application of topical hemostatic agents, drugs and blood products in cardiovascular surgery[J]. Chin J Thorac Cardiovasc Surg, 2022, 38(9):513-535.

[54] 杜磊, 周成斌,吉冰洋, 等. 成人心血管外科手术体外循环患者血液管理指南[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2024, 31(11):1547-1559.
DU L, ZHOU C B, JI B Y, et al. Guidelines on patient blood management for adult cardiovascular surgery under cardiopulmonary bypass[J]. Chin J Clin Thorac Cardiovasc Surg, 2024, 31(11):1547-1559.

[55] 上海市社会医疗机构协会输血专业委员会. 社会医疗机构临床用血管理专家共识[J]. 中国卫生质量管理, 2025, 32(3):83-87.
Transfusion Committee of Shanghai Municipal Association of Social Medical Institutions. Expert consensus on clinical blood use management in social medical institutions[J]. Chin Health Qual Manag, 2025, 32(3):83-87.

[56] WANG F, XU Z G, LV K, et al. Analysis of blood utilisation efficiency driven by clinical management and hospital heterogeneity[J]. Front Public Health, 2025, 13(undefined):1668449.

[57] VISAGIE M, QIN C X, CHO B C, et al. The impact of patient blood management on blood utilization and clinical outcomes in complex spine surgery[J]. Transfusion, 2019, 59(12):3639-3645.

[58] NASCA B, REDDY S, FURMANCHUK A, et al. Hospital variation in adoption of balanced transfusion practices among injured patients requiring blood transfusions[J]. Surgery, 2024, 176(4):1273-1280.

[59] VELÁZQUEZ KK, LUNA A, SÁNCHEZ TORNERO A, et al. Transfusion support in COVID-19 patients:Impact on hospital blood component supply during the outbreak[J]. Transfusion, 2020, 61(2):361-367.

[60] SWART N, MORRIS S, MURPHY M F. Economic value of clinical decision support allied to direct data feedback to clinicians:blood usage in haematology[J]. Vox

Sang, 2020, 115(4):293-302.

[61] 周洁, 吕科, 滕方, 等. 血浆与红细胞不同输注比例对创伤性失血患者大量输血救治的影响[J]. 中国输血杂志, 2011, 24(10):844-847.
ZHOU J, LYU K, TENG F, et al. Effects of different ratios of frozen plasma (FP) to red blood cell (RBC) on the outcome of traumatic hemorrhagic patients after massive transfusion[J]. Chin J Blood Transfusion, 2011, 24(10):844-847.

[62] 陈珊, 刘景福, 李珍, 等. 食管癌围手术期患者输血预测模型的建立[J]. 临床输血与检验, 2023, 25(6):743-749.
CHEN S, LIU J F, LI Z, et al. Establishment of A blood transfusion prediction model for perioperative patients with esophageal cancer[J]. J Clin Transfus Lab Med, 2023, 25(6):743-749.

[63] 罗成岑,洪琳欧, 何春宇, 等. 基于决策树算法的肝脏切除术患者围术期输血影响因素分析[J]. 中国输血杂志, 2025, 38(10):1334-1339.
LUO CC, HONG L O, HE C Y, et al. Perioperative blood transfusion in hepatectomy:a decision tree analysis of influencing factors[J]. Chin J Blood Transfusion, 2025, 38(10):1334-1339.

[64] 陈潮锋,何达东, 梁锦成, 等. 基于机器学习算法预测全膝关节置换后是否需要输血的可能性[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(36):5792-5797.
CHEN C F, HE DD, LIANG J C, et al. Predicting the possibility of blood transfusion after total knee arthroplasty based on machine learning algorithm[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2021, 25(36):5792-5797.

[65] 施春晓, 向征鸿, 王宇潇. 肿瘤相关性贫血患者红细胞输注疗效的影响因素[J]. 中国处方药, 2023, 21(2):155-158.
SHI C X, XIANG Z H, WANG Y X. Factors influencing the efficacy of red blood cell infusion in patients with tumor-associated anemia[J]. J Chin Prescr Drug, 2023, 21(2):155-158.

[66] 牛峰, 苏保童, 陈榆林, 等. 以 R 软件建立老年髋部骨折术后输血 Nomogram 预测模型[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(31):4932-4936.
NIU F, SU B T, CHEN Y L, et al. Establishment of Nomogram prediction model for postoperative blood transfusion in elderly hip fractures using R software[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2023, 27(31):4932-4936.

[67] 刘威,吴承高, 刘强, 等. 颅脑创伤患者临床输血影响因素分析及预测模型构建[J]. 临床神经外科杂志, 2024, 21(4):365-370.
LIU W, WU C G, LIU Q, et al. Influencing factors of clinical blood transfusion in patients with traumatic brain injury and construction of prediction model[J]. J Clin Neurosurg, 2024, 21(4):365-370.

[68] 黎勤云, 李志强, 高宗帅, 等. 个体化精准输血管理系统的研发与应用[J]. 中国卫生质量管理, 2019, 26(5):118-121.
LI Q Y, LI Z Q, GAO Z S, et al. Development and Clinical Application of the Individualized Precision Blood Transfusion Management System[J]. Chin Health Qual Manag, 2019, 26(5):118-121.

[69] LENET T, TROPIANO J, SKANES S, et al. Understanding intraoperative transfusion decision-making variability: a qualitative study[J]. Transfus Med Rev, 2023, 37(2):150726.

[70] BRAESTER A, SHAOUL E, MIZRACHI O, et al. Patient involvement in the transfusion decision-making can change patient blood management practice for better or worse[J]. ActaHaematol, 2021, 145(1):5-8.

[71] LEACH B J, DEVINE D V. Risk-based decision making in transfusion medicine[J]. Vox Sang, 2018, 113(8):737-749.

[72] TYMEN R, DOS SANTOS E C, TACCONE F S, et al. Physiological determinants and the red blood cell transfusion decision-making process in non-bleeding critically ill patients:a comprehensive narrative review[J]. Intensive Care Med, 2026, 52(2):309-323.

[73] ZHU C T, GAO Y L, LI Z Q, et al. A systematic review and meta-analysis of the clinical appropriateness of blood transfusion in China[J]. Medicine (Baltimore), 2015, 94(50):e2164.

[74] 国家卫生健康委员会. 临床用血技术规范(2025 年版)[S/OL]. (2025-11-28)[2026-03-28]. https://www.nhc.gov.cn/ylyjs/zcwj/202512/1f0e99982b49476b9b076ee10ef9ca75.shtml.
National Health Commission of the People's Republic of China. Technical specifications for clinical use of blood (2025 edition)[S/OL]. (2025-11-28)[2026-03-28]. https://www.nhc.gov.cn/ylyjs/zcwj/202512/1f0e99982b49476b9b076ee10ef9ca75.shtml.

(2026-04-28 收稿,05-24 修回,06-11 接收)

本文编辑:闻欣