· 专家共识 ·

红细胞输注无效研究专家共识

红细胞输注无效专家共识编写组

摘要:目前临床上红细胞输注无效(RTR)发生率较高。RTR 的发生不仅影响患者治疗效果、增加患者的经济负担,还造成血液资源的浪费。目前临床上存在诊断标准不一、漏检等诸多问题。本共识旨在统一临床诊疗规范,提出 RTR 诊断及预防策略,减少输血反应与血液资源浪费,改善患者长期预后,为全国医疗机构 RTR 全流程管理提供循证指导。

关键词:红细胞输注无效;诊断;预防

中图分类号:R457. 1　R331. 1^{+}41　**文献标识码**:A　**文章编号**:1004-549X(2026)9-1189-15

DOI:10. 13303/j. cjbt. issn. 1004-549x. 2026. 09. 006

Expert consensus on research of red blood cell transfusion refractoriness

Expert consensus writing group on ineffective red blood cell transfusion

Abstract:The incidence of red blood cell transfusion refractoriness (RTR) remains high in clinical practice. The occurrence of RTR not only impairs therapeutic efficacy and increases patients' financial burden, but also leads to the waste of blood resources. Currently, clinical practice is plagued by inconsistent diagnostic criteria and missed detection. This consensus aims to standardize clinical diagnosis and treatment protocols, propose diagnostic and preventive strategies for RTR, reduce transfusion reactions and blood waste, improve patients' long-term prognosis, and provide evidence-based guidance for the full-cycle management of RTR in medical institutions across the country.

Key words:red blood cell transfusion refractoriness;diagnosis;prevention

输血作为重症救治的重要干预手段,红细胞输注的临床价值已获广泛认可[1-2]。我国早在 2006 年就有专家提出红细胞输注无效(red blood cell transfusion refractoriness,RTR)的概念[3]。多中心研究结果显示,我国 RTR 发生率高达 18. 2%(恶性血液病 RTR 率为 37. 0%,实体肿瘤 RTR 率为 42. 8%)[4-5]。当前临床实践中存在反复输注但未及时评估输注效果的情况,不仅影响患者治疗效果、增加患者输血反应风险和经济负担,还会造成血液资源的浪费[6]。本共识旨在探讨 RTR 相关影响因素,并提出 RTR 诊断及预防策略,为提高临床输血效果及改善患者预后提供指导。本共识已在国际实践指南注册与透明化平台注册,编号为 PREPARE-2026CN1795。

1　方法学

1. 1　专家组构成与核心问题确定

本次共识制定由红细胞输注无效专家共识编写组牵头,采用 GRADE-ADOLOPMENT 框架,联合临床科室、输血科、血液中心等专家共 62 人参与,其中博士占比 41. 94%,硕士占比 33. 87%,工作年限>20 年的占比 79. 03%,高级职称占比 95. 16%,整体权威度较高。共识编写组采用改良德尔菲法(modified delphi method, MDM)对初筛的 21 项临床问题(来自对全国 23 家医院的调研结果)进行第 1 轮投票,专家回复率为 76. 09%,专家权威系数为 91. 43%,最终确定核心问题 9 项。

1. 2　文献检索策略及证据等级评定

共识编写组针对纳入的临床问题,按照 PICOS(人群、干预措施、对照、结局指标、研究类型)对所

并列执笔人简介:胡雪(1982-),女,主任技师,副研究员,Email:huxue@ hospital. cqmu. edu. cn;黄雪原(1993-),女,助理研究员,Email:huangxy_amy@ 163. com; **共同通信作者**:高宏军,Email: charlesgaohj@ 163. com;兰炯采,Email:nfyyljc@ 163. com;刘铁梅,Email:liutiemei777@ 163. com;王珏,Email:wangjue@ ibt. pumc. edu. cn;魏亚明,Email:eywym@ scut. edu. cn;张德梅,Email:13834532717@ 126. com

收集的问题进行解构，根据解构的临床问题进行证据检索。以“red blood cell transfusion refractoriness”、“refractoriness to red blood cell transfusion”和“红细胞输注无效”等作为关键词，检索 PubMed、Web of Science、中国知网、万方数据知识服务平台等数据库。检索时限为建库至 2026 年 6 月 1 日。文献纳入标准：1）内容与 RTR 相关；2）研究类型包括系统评价、Meta 分析、随机对照试验（randomized controlled trial，RCT）、队列研究、病例对照研究、病例报告等；3）文献类型为基础研究及临床论著、指南和共识、综述。文献排除标准：1）内容重复；2）研究科学依据不足、数据不完整或方法不严谨；3）无法获得全文；4）非正规刊物。共识编写组通过以上检索策略，依据纳入和排除标准进行全面系统的文献检索和筛选，以确保专家共识的制定基于全面、科学的研究证据，最终引用文献 121 篇，其中英文 87 篇，中文 34 篇。本共识对纳入的文献采用牛津循证医学中心（Oxford Centre for Evidence-Based Medicine，OCEBM）临床证据水平分级系统（2011 版）（附件一）标准对证据进行分级，依据研究的类型和质量，将证据质量等级分为Ⅰ—Ⅴ共 5 级，并可因研究质量偏倚、不精确性、间接性（研究问题与 PICO 问题不匹配）、不一致性或绝对效应量较小而降级，可以因效应量大或非常大而升级 。

1.3　推荐意见形成与推荐级别评定

结合核心问题、所检索的文献，经共识起草人讨论后形成初步推荐意见。采用 MDM 进行第 2 轮投票，专家回复率 72.39%，专家权威系数 79.80%。共识编写组综合考虑证据质量、获益与风险、可行性对每条推荐意见进行反复评估并投票给出不同的反馈意见，包括：① 完全赞成，必不可少；② 部分赞成，但有一定保留；③ 部分赞成，但有较大保留；④ 不赞成，但有一定保留；⑤ 完全不赞成。根据专家投票结果，完全赞成和部分赞成的得票数占比之和≥80%，则该条推荐意见达成共识并确认推荐，根据赞成率得出推荐级别，将①得票数占比≥80%的定为“强推荐”，①和②得票数占比相加≥80%定为“推荐”，①、②和③得票数占比相加≥80%定为“建议”。

2　推荐意见

2.1　推荐意见 1　凡是红细胞输注 24 h 内 Hb 升高低于理论值，且/或临床缺血缺氧症状未见改善者，定义为 RTR。Hb 检测时间点常规为输注后 24 h，若存在明显活动性出血或怀疑大量输液/输血浆导致血液稀释的情况，可加测输注后 1 h 的 Hb。［证据等级Ⅲ；推荐级别：推荐；共识度：100%］

目前国内外对 RTR 的定义尚未统一。《中华输血学》第 2 版指出：凡是红细胞输注以后，24 h 内 Hb 升高低于理论值，即为 RTR[7]。RTR 的定义可分为广义与狭义 2 种：广义 RTR 指凡是红细胞输注以后 Hb 升高不到理论值的情况，包括原因明确者如溶血、继续失血、输液稀释等各种原因导致的无效输血，以及原因不明确者；狭义 RTR 特指临床未发现明确原因或无法做出合理解释者。为全面调查引起 RTR 的原因并有助于临床处理，本共识采用广义定义。

本共识结合实验室指标与临床症状改善指标将 RTR 定义为：凡是红细胞输注以后，24 h 内 Hb 升高低于理论值，且/或头晕、面色苍白、胸闷气短、四肢乏力、呼吸困难、心率加快等缺血缺氧症状未见改善，即可诊断为 RTR。其诊断需结合实验室检测指标与临床表现，并排除技术误差及干扰因素。在血流动力学稳定、无活动性出血、无大量晶体液稀释的患者中，红细胞在输注完毕 15 min-1 h 内已完成平衡，此时测得的 Hb 与 24 h 的 Hb 相近[8]。故对于存在明显活动性出血或怀疑大量输液/输血浆导致血液稀释的患者，可加测输注后 1 h 的 Hb；无此类干扰因素的患者则可选择输注后 24 h 监测 Hb，从而科学区分无效输注的真实原因，为后续个体化治疗提供依据。

目前，根据《输血免疫血液学实验技术》中提出的输血后 Hb 升高理论值判断公式为：Hb 预期升高值（g/L）= 供者 Hb（g/L）×输注量（L）/患者血容量（L）×90%。患者血容量估算：血容量 = 体重（kg）×系数（成人为 0.085 L/kg，儿童为 0.09 L/kg）；较新鲜的红细胞输注后 24 h 回收率约为 90%[9]。也可采用以下方式估算：60 kg 的成人输注 2 U（1 U 由 200 mL 全血制备）悬浮红细胞，Hb 可提高约 10 g/L。

2.2　推荐意见 2　各医疗机构建立红细胞输注效果监测机制，对发生 RTR 的病例开展系统性调查并给予相应处置，明确其潜在机制（免疫/非免疫），为制定个体化防治策略提供依据。［证据等级Ⅰ；推荐级别：强推荐；共识度：100%］

我国对 RTR 的研究早于国外，但进展较慢。同时，目前国内外对 RTR 的研究较少，且大多是基

于临床数据的回顾性研究,缺乏高质量的 RCT 或前瞻性研究[10-11]。RTR 不仅会延误患者治疗,而且存在诱发免疫功能紊乱的可能[12-14]。近年来,随着精准输血理念的推广,对 RTR 的关注显著增加,但仍存在诊断标准不统一、漏检率高等问题[13]。

RTR 可导致一系列临床不良结局:1)组织缺氧持续,加重心、脑、肾等重要器官损伤[15-16];2)诱发免疫系统紊乱、炎症反应加剧[17];3)破坏的红细胞诱发高胆红素血症从而导致肾功能损伤等[11,18];4)反复贫血、多器官缺氧、铁过载(铁沉积于肝、心等器官,诱发纤维化及功能衰竭)、输血依赖及生存率下降[19-21]。RTR 还同时造成医疗资源浪费、患者经济负担增加[15,22]。

造成 RTR 的原因是复杂的,目前已知的机制主要分为免疫性和非免疫性 2 大类。

免疫性机制:1)同种异体抗体介导的红细胞破坏:患者体内产生针对供者红细胞抗原的同种异体抗体,包括 ABO 血型系统与 ABO 血型以外同种抗体的漏检等,当再次输入含有相应抗原的红细胞时,抗体与抗原结合,激活补体系统,导致红细胞破坏,形成 RTR[23]。2)自身抗体介导的红细胞破坏:某些疾病,如自身免疫性溶血性贫血(autoimmune hemolytic anemia,AIHA),患者体内存在自身抗体,在破坏自身红细胞的同时也会破坏输注的红细胞,使其在体内存活时间缩短,导致输注效果不佳[24]。3)炎症因子影响:免疫反应触发炎症因子(如 IL-6、TNF-α 等)释放,导致微循环障碍,严重者引起弥散性血管内凝血(disseminated intravascular coagulation,DIC),此类患者在微循环中广泛形成微血栓,凝血功能异常、炎症因子风暴等病理生理状态,进一步影响红细胞输注效果[21,25-26]。4)白细胞抗体(如 HLA 抗体)诱导输血反应:HLA 抗体可与输注成分血中残留的白细胞结合,加之血液储存过程中产生的细胞因子,可导致患者发生非溶血性输血不良反应,间接诱发 RTR[24,27]。5)严重感染:感染及其相关炎症反应可通过缩短红细胞寿命、增加巨噬细胞介导的红细胞清除、抑制红系造血,以及通过 hepcidin-ferroportin 轴导致铁限制性红细胞生成等机制,加重贫血并影响输血后血红蛋白水平的维持。严重感染或脓毒症还可能伴发凝血功能障碍甚至 DIC,并可出现补体激活、红细胞膜变形能力异常及其他炎症相关溶血机制,从而进一步增加红细胞破坏或清除;少数患者还需考虑合并血栓性微血管病所致的微血管病性溶血[28-30]。6)药物影响:部分药物可使患者产生药物抗体,红细胞致敏后产生药物诱导性免疫性溶血性贫血(drug-induced immune hemolytic anemia, DIHA),从而导致 RTR,此类药物包括抗生素类药物,如哌拉西林、头孢曲松等抗生素类药物;某些抗肿瘤及免疫抑制剂类药物,如环磷酰胺、奥沙利铂、双氯芬酸、甲苯磺酸氮芥、硫唑嘌呤等;某些药物诱导红细胞破坏,如溶栓药、抗疟疾药物等[31-32]。

非免疫性机制:1)患者自身疾病影响:①隐匿性出血:持续或隐性失血导致红细胞丢失;②脾功能亢进:脾脏过度破坏红细胞[33];③患者自身处于高代谢状态时,如发热、严重感染、恶性肿瘤、肝肾功能衰竭,对红细胞的需求增加,同时也可能影响红细胞的存活和功能,从而加速红细胞清除。2)红细胞储存损伤:红细胞储存时的衰老或损伤可产生一系列变化如 ATP 耗竭、微囊泡释放、NO 紊乱等。储存损伤的红细胞变形性下降,易被单核-吞噬系统清除[34-35]。3)物理损伤:如放射治疗、体外循环、ECMO 治疗、透析治疗等[33,36-38]。4)血液稀释:血液稀释导致测得的血红蛋白(hemoglobin,Hb)下降,如输液导致的血液稀释或同时输注血浆导致血浆量增加等[39-40]。5)脾脏滞留:肝脾肿大时,脏器内红细胞贮存量可显著增加,且巨噬细胞吞噬能力增强或巨噬细胞中某些蛋白表达上调可导致红细胞破坏量增多,引起 RTR[41-42]。

造成 RTR 的原因很复杂,可能是多种因素共同影响导致的。目前对其机制的研究较少,建议医疗工作人员密切关注并评价红细胞输注效果。一旦出现 RTR,应及时开展调查、收集分析相关数据,为 RTR 机制解析及防治策略的制定提供临床依据。同时可整合医疗机构、采供血机构与科研机构多方资源,开展联合研究,进一步阐明 RTR 的发生机制。

2.3 推荐意见 3 将 RTR 分为轻度、中度、重度 3 级。建议联合应用 Hb 及其他指标以更科学、更严谨地诊断 RTR,帮助区分病因,指导个体化处理。[证据等级Ⅲ;推荐级别:推荐;共识度:94.1%]

引起 RTR 的因素可分为免疫性因素和非免疫性因素,其科学诊断需联合 Hb 以外的多维度指标以增强严谨性。建议通过 4 步流程实现精准鉴别:1)确认 Hb 未达预期并排除技术误差;2)评估免疫性病因及溶血风险,补充溶血标志物(LDH、结合珠蛋白、胆红素)、直接抗球蛋白试验(direct antiglobulin test,DAT)、意外抗体筛查及药物抗体检测以

明确抗体介导的免疫反应[43-47]；3）排查非免疫性因素，通过心悸、乏力、腹部不适、黑便等临床表现和红细胞压积、网织红细胞计数、隐血试验及炎症标志物（CRP、IL-6）等实验室检查辅助诊断隐匿性出血、血液稀释或骨髓抑制[48-50]；4）综合临床疗效与实验室数据，明确 RTR 的具体病因并按严重程度分级，从而指导个体化干预策略，形成从病因筛查到分层管理的闭环诊断体系。基于上述流程，本共识将 RTR 分为轻度、中度、重度 3 个等级，便于临床鉴别诊断及处理，详见表 1。

Hb 升高不是输血疗效判定的唯一指标，输血的最终目标仍然是改善器官缺血缺氧并缓解临床症状，而不是以某一实验室指标为标的（如达到特定的 Hb 水平）。本共识参照相关疾病管理指南中的氧合评估指标，包括症状、体征、实验室指标、影像学评估及功能评估几个方面，提供了综合判断缺血缺氧改善的参考依据，见表 2。

表 1　RTR 等级与临床意义

Table 1　RTR grades and clinical significance

	标准	临床意义
RTR 等级 Ⅰ（轻度）	Hb 增量低于预期，但无溶血证据；可能由血液稀释、发热等非免疫因素导致。	观察为主，优化容量管理。
Ⅱ（中度）	Hb 增量不足伴轻度溶血（LDH/胆红素轻度升高），或存在同种抗体（DAT 阳性但无急性溶血）。	需排查免疫因素，分析是否存在 ABO 亚型等稀有血型漏检，交叉配血漏检，意外抗体、自身抗体和药物抗体等因素，采用敏感技术进行交叉配血；密切监测溶血进展。
Ⅲ（重度）	Hb 不升或下降，伴显著溶血（LDH>2 倍上限、结合珠蛋白降低），或患者出现严重缺氧症状。	需排查高溶血综合征（HHS）、AHTR 或 DHTR，以及隐匿性出血的可能性，对症进行紧急处理。

表 2　输血改善机体缺血缺氧状态的评价指标

Table 2　Indicators for assessing the effects of blood transfusion on tissue ischemia and hypoxi

	判断	证据
症状与体征	1）症状缓解：胸痛（心绞痛）、呼吸困难、意识障碍、肢体麻木或疼痛等减轻或消失；2）体征改善：皮肤黏膜发绀减轻、尿量恢复、四肢末梢温度回升、血压/心率趋于稳定。	《2023 ESC 急性冠脉综合征管理指南》：强调胸痛缓解、ST 段回落（ECG）、肌钙蛋白峰值提前作为心肌再灌注成功标志[51]。
实验室指标	1）乳酸水平下降：血乳酸≤2.0 mmol/L，清除率>10%/h。2）血气分析代谢性酸中毒改善：PaO_2 ↑（>60 mmHg）、SaO_2 ↑（>90%）、pH 值正常化；3）组织氧合改善：中心静脉血氧饱和度（$ScvO_2$）>70%。	1）《Circulation（2016）》：血乳酸水平与病死率显著相关，动态监测可指导休克复苏[52]；2）《拯救脓毒症运动（SSC）指南 2021》：以乳酸清除率、$ScvO_2$ 和毛细血管再充盈时间（CRT）作为组织灌注改善的核心指标[53]；3）《ARDS 柏林定义（2023 更新）》：PaO_2/ FiO_2 比值>300 mmHg（轻度）提示氧合改善[54]；4）《慢性阻塞性肺疾病全球倡议（GOLD 2024）》：推荐血气分析 pH 正常化及活动后呼吸困难评分（mMRC）降低[55]。
影像学评估	1）心脏缺血改善：冠脉造影显示血流恢复（TIMI 血流分级≥2 级），心脏超声示室壁运动改善；2）脑缺血改善：CT/MRI 显示梗死灶无扩大，灌注成像（CTP/MRP）示缺血半暗带缩小；3）外周缺血改善：超声多普勒显示血流速度恢复，踝肱指数（ABI）>0.9。	1）《中国急性缺血性卒中血管内治疗专家共识》：强调术后 24 h 影像学显示梗死体积缩小或无进展[56-57]；2）DEFUSE 3 试验：MRI 灌注成像中缺血半暗带体积缩小与良好预后相关[58]。
功能评估	1）心功能：左室射血分数升高、NT-proBNP 下降；2）脑功能：NIHSS 评分下降、GCS 评分增加；3）运动耐量：6 min 步行试验距离增加。	1）《AHA/ACC 心力衰竭管理指南（2022）》：推荐 NT-proBNP 下降>30%作为心衰缺氧改善的生化指标[59]；2）《2026 AHA/ASA 急性缺血性卒中早期管理指南》：提出神经功能改善（NIHSS 评分下降≥4 分）和血管再通（mTICI 分级≥2b 级）为关键目标[60]。

此外还有《多器官功能障碍综合征（MODS）中国专家共识》提出 SOFA 评分下降、器官支持需求减少（如机械通气时间缩短）为改善标志[61]。Ince 等[62]提出舌下微循环成像（sidestream dark field, SDF）评估微血管血流指数（microvascular flow index, MFI）的临床应用价值。针对外周动脉疾病（peripheral artery disease, PAD），TASC Ⅱ指南推荐踝肱指数（ankle-brachial index, ABI）和经皮氧分压（transcutaneous oxygen pressure, $TcPO_2$）作为下肢缺血改善的客观指标[63]。

总之，除 Hb 外，临床输血改善机体缺氧还应结合症状、实验室、影像学及功能评估综合判断。动态监测乳酸、$ScvO_2$、组织氧合及器官特异性指标（如 NT-proBNP、NIHSS 评分）。参照最新指南分层管理，如心脑血管疾病优先血管再通，脓毒症以灌注为导向。

2.4　推荐意见 4　规范 RTR 的调查及处理流程，以确定 RTR 发生的原因并提高救治效果［证据等级：Ⅱ；推荐级别：强推荐；共识度：100%］

红细胞输注后 Hb 增幅未达预期时，应结合临

床表现、输注记录及实验室检查开展系统评估。首先核实输注前后标本的采集时间、输注剂量、患者体重、基础疾病状态,结合缺血缺氧状态是否改善综合判断输注效果。排查标本是否存在采集或检测偏差、未完全输注、持续失血及血液稀释等因素,避免仅依据单次 Hb 测定结果判定 RTR[64]。

RTR 的调查流程主要分为 2 个方面。1)患者病史调查:应重点关注慢性贫血、脾功能亢进、持续或隐匿性失血、严重感染、DIC 及 AIHA,同时了解肝脾肿大、放化疗、骨髓浸润性疾病及大量液体输注等情况,并补充既往输血史、输血反应史、妊娠史及历史红细胞意外抗体资料。积极治疗原发疾病是改善此类患者 RTR 的重要措施。针对口服铁剂无效或铁剂治疗不佳的缺铁性贫血,静脉注射羧基麦芽糖铁联合 EPO 治疗,通过药物组合从根本上改善患者造血功能并减少输血依赖[65-66]。抗 IL-6 受体单抗或 JAK 抑制剂控制炎症因子,改善红细胞存活,治疗炎症性贫血病[67-68]。调查近期用药史如哌拉西林、头孢曲松、双氯芬酸及奥沙利铂等与 DIHA 相关的药物,结合用药时间怀疑 DIHA 时,应及时停用或更换可疑药物,有条件的单位可开展药物依赖性抗体检测等相关检查进行鉴别诊断[69-71]。2)实验室调查:应首先明确是否存在溶血。结合 Hb 动态变化、乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase,LDH)、间接胆红素(indirect bilirubin,IBIL)、结合珠蛋白、网织红细胞计数及外周血涂片进行综合判断。LDH 和 IBIL 升高、结合珠蛋白降低时应怀疑溶血的可能。若存在血浆游离 Hb 升高和/或血红蛋白尿支持存在血管内溶血;但不满足上述标准时不能直接判定为血管外溶血,仍需结合其他证据评价。结合珠蛋白亦受肝功能和炎症状态影响,且血管内与血管外溶血可同时存在[72-73]。

免疫血液学调查应包括复查 ABO 及 RhD 血型、抗体筛查、DAT 以及交叉配血。出现 ABO 正反定型不符、抗原表达减弱或混合视野反应时,应首先核查患者身份、标本及血袋信息,结合近期输血、造血干细胞移植和基础疾病等因素分析原因,必要时选择吸收放散、唾液血型物质检测或分子分型等补充检查,明确是否存在亚型漏检相关的输注不相容。抗体筛查应充分考虑不同抗体特性采用相应方法(详见推荐意见 6),阳性者进一步开展抗体鉴定试验,区分同种抗体、自身抗体及药物抗体。DAT 阳性可进行放散等试验,阳性不一定发生免疫性溶血,阴性亦不能完全排除,需结合溶血相关指标综合判断。对检出具有临床意义的同种抗体且有输血需求的患者,应选择 ABO 相容、相应抗原阴性的相容性红细胞[73]。对于临床意义尚不明确、影响血液选择的疑难红细胞同种抗体,可在具备条件的参考实验室采用单核细胞单层试验(monocyte monolayer assay,MMA)辅助评估[74]。既往研究提示,MMA 结果>5%与相应抗原阳性红细胞输注后的溶血风险有关,但不能作为患者已经发生溶血的诊断依据,结果≤5%亦不保证输入红细胞的正常存活[75]。

血液成分及输注过程调查应同步,核查血袋外观、储运条件和输血过程,排查细菌污染、温度、机械或渗透性损伤。怀疑输血传播的细菌感染时,应对患者血液及血袋剩余成分进行细菌培养,结合临床表现与微生物学结果判断感染归因。若血袋剩余成分培养阳性,提示污染可能,需综合判断是否是由输血引起的感染[76-77]。红细胞三磷酸腺苷(adenosine triphosphate,ATP)及一氧化氮(nitric oxide,NO)相关检测可用于储存质量或机制研究,但目前不宜作为 RTR 的常规诊断条件[78-79]。针对库存血 NO 损失导致的输注无效,吸入低浓度 NO(20 ppm)可改善红细胞变形性,提升微循环氧供[80-82]。

需注意调查与处理应同步进行。输血过程中出现疑似急性溶血性输血反应、ABO 不相容输注或输血传播细菌感染时,应立即停止当前可疑血液成分的输注,通知临床医师及输血科,保留相关标本、血袋和输血器,并根据病情开展监测与支持治疗,不应等待实验室检查完成后再处理。后续输血方案应由临床医师与输血科共同评估,在处理原发病及对症治疗的基础上,结合贫血程度、抗体特异性和相容性检测结果综合判断。处理后应动态复查 Hb 及相关溶血指标,评价干预效果,完整记录并上报调查结果。RTR 的调查与处理推荐流程见图 1,建议建立多学科协作机制,将输血反应及血型免疫结果记录至患者病历。

2.5 推荐意见 5 积极治疗患者原发性疾病,审慎判断是否应采用红细胞输注治疗,并在不影响患者预后的情况下尽量采用限制性红细胞输注策略。[证据等级:Ⅰ;推荐级别:强推荐;共识度:100%]

根据国内外指南和 PBM 的主旨,在不影响患者预后的前提下,根据年龄和疾病的不同,宜采用限制性红细胞输注策略进行精准输血(具体参考《内科输血(WS/T 622-2018)》、《儿科输血指南(WS/T 795-2022)》、《围手术期患者血液管理指南

(WS/T 796-2022)》)[83-85]。即使符合红细胞输注的适应证也应首先治疗原发病,维持造血功能正常并减少红细胞的破坏或流失,必要时予以红细胞输注治疗,为治疗原发病争取时间,减少 RTR 的发生。

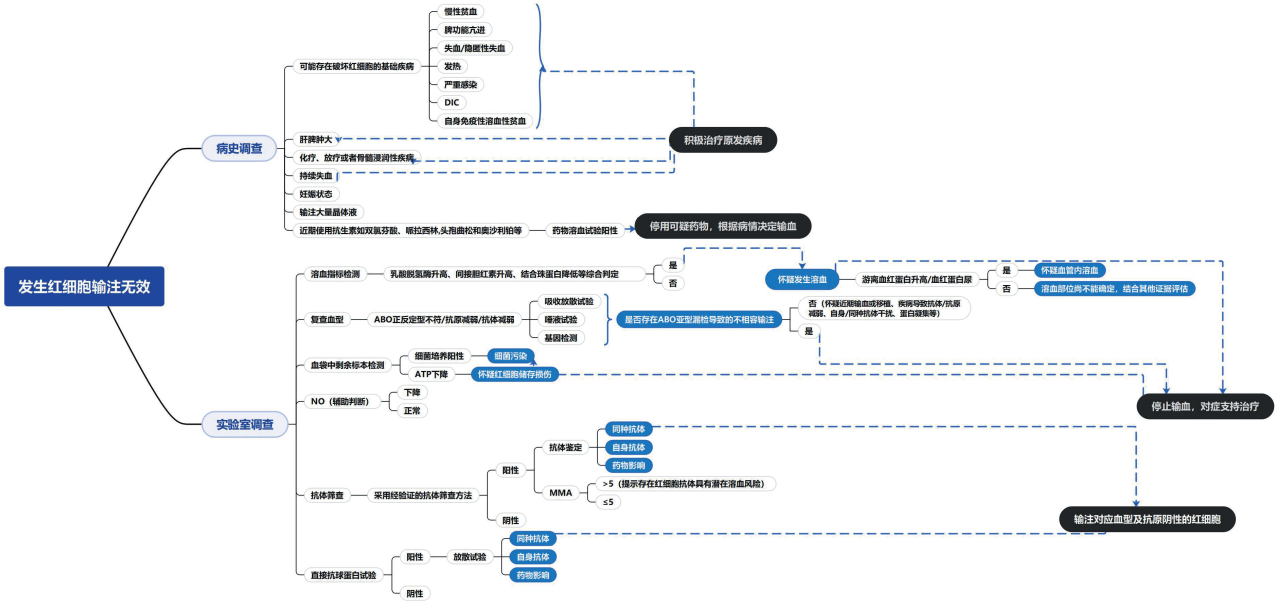


图 1　RTR 的调查与处理流程

Figure 1　Algorithm for the investigation and management of RTRs

2.6　推荐意见 6　加强血型鉴定及红细胞意外抗体筛查的全面性和准确性,以降低亚型及抗体漏检的风险。[证据等级:Ⅱ;推荐级别:强推荐;共识度:100%]

部分血型亚型漏检和红细胞意外抗体漏检是导致溶血性输血反应(hemolytic transfusion reaction,HTR)及 RTR 的重要原因之一。

导致血型鉴定及红细胞意外抗体鉴定不准确的原因有多种。

ABO 亚型漏检:ABO 亚型是 ABO 血型系统的变异型,由基因突变导致红细胞表面 A/B 抗原表达减弱或结构异常,易被常规检测方法漏检[86]。包括 A 亚型,如 A_2 及弱 A 表型(A_3、A_m、A_{el} 等);B 亚型,如 B_3、B_m、B_x 等弱 B 表型;以及 B(A)和 cis-AB 等特殊表型等。ABO 亚型常表现为不同程度的 A、B 抗原减弱,如果误将供血者 A 亚型或 B 亚型判定为 O 型,输注给 O 型受血者时,受血者体内存在的相应抗体可介导输入的红细胞破坏或清除,导致 RTR,并可能发生溶血性输血反应。其临床表现与供血者红细胞抗原表达水平、输注量及受血者抗体的特性等因素相关[69]。常规的血型鉴定方法为试管法、微柱凝集法、凝聚胺介质法、微量板法等。但多项研究显示,采用常规血型鉴定方法可造成 ABO 亚型漏检:2009—2017 年上海地区无偿供血者 ABO 亚型检出率为 0.031%(927/2 945 643),ABO 亚型的理论漏检率为 27.81%[87];1 项对 2021—2022 年广州地区 749 123 名献血者 ABO 血型筛查结果分析发现,漏检率最高的血型是 A_3/B_3 类亚型(68.42%)[88]。常规的血型鉴定方法对 ABO 亚型的检出效率有限,而吸收放散法、基因检测技术可降低 ABO 亚型的漏检率。准确的鉴定 ABO 血型是精准输血、避免患者产生 ABO 抗体,预防 RTR 的重要策略。

红细胞意外抗体漏检:红细胞意外抗体又称不规则抗体,主要指正常抗-A、抗-B 以外的红细胞血型抗体,如 Rh、MNS、Lewis、Kell、Kidd、P_1P_K、Diego、Duffy 等血型系统产生的抗体,红细胞意外抗体是导致 HTR 和 RTR 的主要原因之一。输血前准确的红细胞意外抗体筛查是保证临床安全用血的关键。1)选择合适的检测方法:目前常用的血清学检查方法包括盐水法、凝聚胺法、抗球蛋白法、微柱凝集法、固相红细胞粘附性技术等。不同检测方法对不同抗体的检测能力和效果不尽相同,目前尚无能 100%检出所有具有临床意义抗体的试验方法。对不同临床情况宜采用对应的检测策略。微柱凝集法对各类型抗体的检出率最高达 95%,Capture R 法检测抗-E、抗-D、抗-Jk^a 等 IgG 类抗体的灵敏度相比微柱凝集法高 1-2 个效价值,但对 IgM 类抗体的灵敏度较低[89]。盐水法是检出 IgM 类抗体的重要方法。凝聚胺法对 Rh 系统抗体敏感性较高,但

可能漏检 Kell 系统抗体。抗球蛋白试剂或抗球蛋白微柱凝胶卡应覆盖 IgG 类抗体及 C3d 补体。低效价抗体(效价<1∶64)可被盐水介质抗球蛋白试验漏检,可采用增强技术(如固相吸附法、微柱凝集法)、优化血清与细胞比例(1∶10)、延长抗球蛋白试验孵育时间至 60 min 或联合吸收/放散法浓缩抗体等方式增强检出效率[69,90];怀疑 Rh 唯酶抗体时,需采用更敏感的两步酶法检测,避免用常规筛查方法导致罕见抗体漏检[91-92]。2)采用抗原覆盖面广的抗筛细胞:如果抗筛细胞抗原覆盖面窄,未覆盖所有抗原,可导致临床意义抗体漏检,宜根据中国人血型抗原的分布情况设计高灵敏度抗筛细胞[46,93]。目前部分高频抗原抗体(如抗-Kn^a)、低频抗原检测(如 Dombrock 系统抗原)或复合抗体(抗-Jk3)缺乏商业化试剂,需引入扩展抗原覆盖的谱细胞。3)排除药物抗体及自身抗体的干扰:CD38(达雷妥尤单抗)或 CD34 抗体等药物可导致假阳性;药物诱导抗体(氟达拉滨)可导致假阴性[94-95]。如怀疑药物抗体干扰需结合病史判断,并在停药后复查。自身抗体可掩盖同种抗体造成其漏检,如 AIHA 患者自身抗体干扰同种抗体鉴定时,需通过吸收试验去除温自身抗体后再进行同种抗体鉴定。4)重视 DAT 阳性患者:DAT 阳性患者发生 RTR 概率较高,有文献报告为 19.3%[96]。对于 DAT 阳性的患者,可通过放散试验鉴定是否有红细胞意外抗体吸附在红细胞上[97]。5)特殊抗体的处理:①补体依赖抗体(如 Lewis、Kidd 血型系统产生的抗体)在 EDTA 抗凝血浆(因螯合钙离子抑制补体激活)中易漏检,需采用血清标本检测,并加入新鲜 AB 型血清补充补体活性;②不可检测型抗体(undetectable alloantibody)是指针对 RhC/E 抗原的隐蔽抗体,需通过特殊试验(如^{51}Cr 标记红细胞寿命测定或 CO 呼气法红细胞寿命测定)确认,输注 RhC/E 抗原阴性血液以避免溶血[98];③旁观者型抗体(bystander 抗体)需通过 MMA 评估抗体活性,结合中和抑制试验区分自身抗体与同种抗体[99-101]。6)早期抗体漏检:新产生的红细胞血型意外抗体常在输血 21 d 后才可从患者血清中用常规方法检测到,而在抗体产生早期(输血后 14-21 d 内)无法在血清中检测到,只有在放散液中可检测[97]。采用两步酶法或聚凝胺法可增强早期抗体的检出率(50%)[102]。血清中抗体浓度低于实验方法检测线时,通过放散试验可增强其检出率。

综上,建议多平台联合检测(微柱凝集法+分子分型技术)供者抗原,对 ABO 亚型、Rh 弱 D 型患者红细胞多凝集的患者,采用荧光 PCR-SSP 或全基因组测序(whole-genome sequencing,WGS)进行基因分型,精准匹配供受者抗原,降低误定风险[103];对高危受血者(如输血≥3 次或妊娠≥2 次者)每 3 个月复检抗体,使用扩展抗原覆盖范围(包含 Rh、MNS、Kell 等系统抗原)的抗体筛查细胞,避免低频抗原不匹配导致的输注无效。结合患者病史和抗体筛查格局,采用针对性检测方法避免红细胞意外抗体漏检。

2.7 推荐意见 7 建立高危人群管理策略以优化个体化输血。[证据等级:Ⅲ;推荐级别:强推荐;共识度:100%]

高危人群包括多次输血者、预计需反复输血者(如地中海贫血、镰状细胞贫血、血液病、器官移植、慢性消化道出血、肾病及肿瘤患者)、妊娠史女性、育龄女性、已产生意外抗体的患者、自身免疫性疾病患者及造血干细胞移植受者等。推荐采取以下管理策略:1)严格把控输血指征。2)开展多系统血型抗原拓展匹配,优先输注抗原匹配血液,降低迟发性溶血风险。参考《红细胞血型抗原拓展匹配适用范围中国专家共识》4 级匹配机制,一级基础匹配 ABO 和 Rh 血型系统的 A、B、D 3 个血型抗原;二级初级拓展匹配,涉及 ABO 和 Rh 血型系统(Rh 抗原无法完全匹配时,优先匹配 E>c>C>e)的 7 个血型抗原;三级为高级拓展匹配,涉及 ABO、Rh、MNS、Kidd 和 Duffy 血型系统的 13 个血型抗原(除 ABO 和 Rh 血型系统外,抗原优先匹配顺序为:Jk^a>Jk^b>M>Mur/Mi^a>Fy^b>S);四级为超级拓展匹配,涉及 ABO、Rh、MNS、Kidd、Duffy、Kell、P_1P_k、Lewis 和 Diego 血型系统的 23 个血型抗原(除 ABO 和 Rh 血型系统外,抗原优先匹配顺序为:K>Jk^a>Jk^b>M>Mur/Mi^a>P1>Di^a>Le^a>Le^b>Fy^a>Fy^b>N>S>s>Di^b>k)。对高危人群进行高级拓展匹配(涵盖 ABO、Rh、MNS、Kidd、Duffy 系统 13 种抗原),有条件者实施四级匹配[104]。3)对于免疫功能低下的患者或患儿,使用去白细胞血液成分(残留白细胞<1×10^6 个/U),联合辐照处理(25-35 Gy)预防 TA-GVHD,减少 HLA 抗体的产生及发热反应的风险[105]。4)实体肿瘤患者优先选择<14 d 储存期的红细胞,避免库存血中 NO 损失导致的微循环障碍[106-110]。5)多次输血者同种免疫概率可高达 30%,建议建立患者输血免疫档案,记录红细胞意外抗体、HLA 抗体、红细胞稀有抗原分型及输血反应史,供后续精准匹

配参考[111]。

综上，高危患者需结合患者年龄、输血次数（≥3 次）、妊娠史（≥2 次）、疾病类型审慎考虑输血选择，并推荐为此类患者建立输血免疫档案。

2.8　推荐意见 8　红细胞输注时及输注后，需密切关注输血反应并及时处理，避免影响红细胞输注效果。［证据等级：Ⅳ；推荐级别：强推荐；共识度：100%］

输血反应是指患者发生的与输血具有时序相关性的病理生理反应。HTR、非溶血性发热反应等均可导致红细胞损伤，影响红细胞输注效果，在准确的血型鉴定和红细胞意外抗体鉴定基础上，仍不可避免输血反应的发生[2]。在输注红细胞时或几小时内甚至几周后患者出现不明原因的发热、畏寒、寒战、腰背痛、黄疸、DAT 阳性、血尿、低血压休克、DIC、RTR 等，宜高度怀疑 HTR，须立刻停止输血、进行支持治疗并调查发生原因[112]。医务工作者在红细胞输注时及输注后，应密切关注输血反应并及时处理、分类、分级并上报以预防 RTR 的发生。

亚临床溶血是指无明显临床症状的 HTR，可能在实验室检查中才能发现，如 LDH 升高、胆红素轻微升高等，但常因检测项目不全、指标解读片面或临床信息缺失等导致漏检[113-114]。因此，针对“无原因”的 RTR，为预防漏检亚临床溶血，建议从以下几方面进行排查：1）加强临床信息沟通：明确患者是否存在自身免疫病、用药史、家族性溶血病史等高危因素，并对高风险患者（如服用磺胺类、青霉素、抗疟药等药物者）建议针对性检测。2）检验中优化检测策略：①严格把握检测指标：精准分析引发该结果的所有可能原因，包括网织红细胞比例、外周血涂片观察红细胞碎片或球形红细胞；LDH 升高、IBIL 升高、结合珠蛋白降低、血浆/尿游离 Hb、尿含铁血黄素（慢性溶血）等溶血特异性指标；Coombs 试验（直接/间接抗球蛋白试验）排查免疫性溶血；红细胞酶活性检测（如 G6PD、PK 缺乏症）。②动态监测与重复检测：对疑似病例多次检测，观察指标动态变化（如网织红细胞持续升高）；溶血早期可能仅表现为 LDH 或 IBIL 轻度异常，需结合其他指标综合分析。③应用高灵敏度技术：采用化学发光法、分子诊断技术（如基因检测）提高遗传性溶血性疾病的检出率；对 PNH 克隆，推荐高灵敏度流式细胞术（检测阈值<0.01%）。3）重视检验后分析与临床沟通：对异常结果进行常规复核；轻微异常的溶血指标（如 LDH 轻度升高）需结合其他结果和临床背景判断；外周血涂片发现异形红细胞（球形、靶形、裂片等）时提示需要进一步检查；强化多学科协作，进行多学科会诊，排除临床药物治疗的干扰，必要时追加检测（如骨髓检查、基因检测）；对无法解释的贫血或黄疸，提示排查罕见溶血原因（如微血管病性溶血、冷抗体型溶血）。4）重点管理高风险人群。DIHA 高危患者，用药前筛查 G6PD 缺乏症（尤其磺胺类、伯氨喹等药物使用前），长期用药者定期监测溶血指标；自身免疫性疾病患者，如系统性红斑狼疮、淋巴瘤等患者定期筛查 Coombs 试验；术后或危重患者，关注机械性溶血（如人工心脏瓣膜、ECMO 等器械相关溶血）[115-118]。

总之，为预防亚临床溶血的漏检，需通过优化检测流程、选择敏感指标、加强多学科协作，并结合患者个体化风险评估，可显著提高检出率。对疑似病例需保持警惕、动态监测并利用先进技术辅助诊断。

2.9　推荐意见 9　积极运用新技术（如基因检测技术、人工智能等）有助于提升 RTR 的预防与研究水平。［证据等级：Ⅴ；推荐级别：强推荐；共识度：100%］

新技术在输血领域拥有多元的应用场景，既可解决传统血清学检测存在的技术局限，也可依托大数据与算法模型，覆盖血型鉴定、临床用血评估、输血风险预警及血液质量管控等多个关键环节，为 RTR 的防控与科研工作提供全新技术路径，具体应用如下：1）血型基因检测：对于某些通过传统血清学方法难以准确鉴定的亚型，基因检测技术可以分析血型相关基因序列，从而准确鉴定血型以实现精准输血，避免血型抗体诱导免疫反应从而导致 RTR。常用的基因学检测方法有 PCR 技术、NGS 技术、PCR-RFLP 技术等[119]。2）AI 技术：人工智能（artificial intelligence，AI）技术，是计算机科学的 1 个分支，它试图通过模拟人类智能的方式，使计算机系统能够像人类一样感知、学习、思考、决策和行动。近年来，随着 AI 技术的发展，为医疗行业赋能，使得医疗技术更加便捷、准确。未来，AI 技术有望通过以下方式辅助预防、诊断及治疗 RTR：①辅助血型鉴定、抗体鉴定和输血相容性评估：利用 AI 的语言化、图片化功能，构建多模态模型辅助判读血型、抗体鉴定及交叉配血结果，准确快捷地预测红细胞输注效果。②精准用血评估：构建围手术

期患者用血大数据库，纳入患者信息，通过特征筛查组合输入智能用血模型，构建术前用血智能评估模型，实现用血智能评估。并在临床实践中对其预测准确性和效果进行评估，反馈更新学习策略[113]。③输血反应预测：开发风险评分模型，预测输血反应，监测并优化输血后患者的管理，提高输血安全性、效率和患者预后[120]。④血液储存与质量管理：AI 动态库存管理系统通过分析往年用血数据，从被动供血转变为科学预判、合理用血，建立精准采供血模型。此外，基于质谱技术的组学领域技术拓展了对血液储存损伤的理解。同时，机器学习和系统生物学的研究方法，可用于筛选与红细胞存储质量、输血后功效评价相关的生物标志物，进一步改进血液储存策略[121]。

3 总结

本共识旨在提出 RTR 防治策略，为医务工作者诊断、预防、快速处理 RTR，改善输血疗效及患者预后提供指导。本共识提出的 RTR 定义为广义范围，未排除任何临床特殊情况，旨在简化流程、方便临床第一时间判断并处理 RTR。本共识建议仅为参考和学术指导，不作为法律依据，实际操作应根据具体情况和临床症状综合分析并进行调整。本共识主要基于现有观察性研究和专家意见，部分推荐尚需高质量 RCT 验证。随着新证据产生，本共识将适时更新。

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

并列第一作者（按汉语拼音字母顺序排列）

敖正才（成都市第五人民医院）、卞茂红（安徽医科大学第一附属医院）、蔡晓红（上海交通大学医学院附属瑞金医院）、常洪劲（济宁医学院附属医院）、曹荣祎（哈尔滨医科大学附属第一医院）、陈飞（浙江省台州市医院）、陈进凡（甘肃省中医院）、陈静（河北医科大学第三医院）、陈瑞林（茂名市人民医院）、董佩云（邯郸市第一医院 ）、陈伟（新疆维吾尔自治区人民医院）、高宏军（江阴市力博医药生物技术研究所）、桂霞（新疆医科大学附属肿瘤医院）、胡雪（重庆医科大学附属第一医院）、何明（伊犁哈萨克自治州友谊医院）、黄雪原（中南大学湘雅三医院）、江峰锦（重庆市渝北人民医院）、居敏（新疆医科大学第一附属医院）、兰炯采（南方医科大学南方医院）、黎海澜（广西壮族自治区人民医院（广西医学科学院））、李海英（重庆医科大学附属璧山医院）、李彩霞（丽水市人民医院）、李菲（新疆维吾尔自治区人民医院）、廖群（重庆大学附属中心医院）、李玲（成都市第三人民医院）、刘春霞（兰州大学第一医院）、刘久波（湖北医药学院附属医院（十堰市太和医院））、刘铁梅（吉林大学中日联谊医院）、刘未邦（甘肃省武威市人民医院）、吕小英（复旦大学附属中山医院（厦门））、毛伟（重庆市血液中心）、莫水群（广东省肇庆市第一人民医院）、牛媛（宁夏医科大学总医院）、年青（四川省人民医院）、乔姝（内蒙古科技大学包头医学院第一附属医院）、邵树军（河南省肿瘤医院（郑州大学附属肿瘤医院））、施丽（伊犁哈萨克自治州友谊医院）、石海燕（淄博市第一医院）、宋艳艳（辽宁方大总医院有限公司）、孙国栋（邯郸市中心血站）、孙晓洁（新疆医科大学附属肿瘤医院）、谭碧雯（广州市红十字会医院）、唐海平（重庆大学附属三峡医院）、唐海丽（广西壮族自治区南溪山医院/广西壮族自治区第二人民医院）、田英（南方医科大学第八附属医院）、汪辉（哈尔滨医科大学附属第二医院）、王珏（中国医学科学院输血研究所）、王静（重庆医科大学附属第一医院）、王儒彬（新疆维吾尔自治区人民医院）、王晓宁（吉林大学第一医院）、魏亚明（广州市第一人民医院）、吴天鸽（吉林大学第二医院）、夏肖萍（浙江大学医学院附属第四医院）、谢作听（温州医科大学附属第一医院）、邢志勇（武威市中心血站）、杨贺才（河南省血液中心）、杨江存（陕西省人民医院）、杨眉（贵州省人民医院）、杨嫣鹊（鹤壁市中心血站）、余泽波（重庆医科大学附属第一医院）、易海（中国人民解放军西部战区总医院）、尹文（空军军医大学第一附属医院输血科）、苑召虎（广州市第一人民医院）、张婵（云南省第一人民医院）、张琦（复旦大学附属华山医院）、张雪睿（北海市人民医院）、张德梅（太原市血液中心）、赵鼎（河南省儿童医院郑州儿童医院）、赵刚（新疆医科大学附属中医医院）、赵丽艳（吉林大学第二医院）、赵毓宏（浙江大学医学院附属第一医院）、赵星（新疆医科大学附属肿瘤医院）、郑萍（信阳市中心医院）、周世乔（南方医科大学深圳医院）、朱培元（南京市中医院）、周雄辉（中南大学湘雅三医院）

[参考文献]

[1] GOEL R, TOBIAN A A R, SHAZ B H. Noninfectious transfusion-associated adverse events and their mitigation strategies[J]. Blood, 2019, 133(17): 1831-1839.

[2] MUELLER M M, VAN REMOORTEL H, MEYBOHM P, et al. Patient blood management: recommendations from the 2018 frankfurt consensus conference[J]. JAMA, 2019, 321(10): 983-997.

[3] 吕运来，孙先玲，兰炯采，等. 临床输血 500 例疗效调查分析[J]. 中国输血杂志，2006(6)：488-489.
LV Y L, SUN X L, LAN J C, et al. Investigation and a-

nalysis of therapeutic efficacy of clinical blood transfusion in 500 cases[J]. Chin J Blood Transfusion, 2006(6): 488-489.

[4] 曹廷卉,王广杰. 红细胞输注的疗效观察与输注无效的探讨[J]. 中国输血杂志,2015, 28(10):1241-1243.
CAO T H, WANG G J. Observation of red blood cell transfusion efficiency and analysis of unsuccessful transfusion[J]. Chin J Blood Transfusion, 2015, 28(10): 1241-1243.

[5] 李志静. 红细胞输注无效的原因与安全输血[J]. 中国输血杂志,2017,30(4):381-383.
LI Z J. Causes and therapeutic countermeasures for red blood cell infusion failure[J]. Chin J Blood Transfusion, 2017, 30(4):381-383.

[6] DESAI N, SCHOFIELD N, RICHARDS T. Perioperative patient blood management to improve outcomes[J]. Anesthesia & Analgesia, 2018, 127(5):1211-1220.

[7] 杨成民,刘进,赵桐茂. 中华输血学[M]. 2 版. 北京:人民卫生出版社,2021:520.
YANG C M, LIU J, ZHAO T M. Chinese Transfusion Medicine[M]. 2nd ed. Beijing: People´s Medical Publishing House, 2021.

[8] ELIZALDE J I, CLEMENTE J, MARIN J L, et al. Early changes in hemoglobin and hematocrit levels after packed red cell transfusion in patients with acute anemia [J]. Transfusion, 1997, 37(6):573-576.

[9] HOD E A, SPITALNIK S L. Harmful effects of transfusion of older stored red blood cells: iron and inflammation [J]. Transfusion, 2011, 51(4):881-885.

[10] CARSON J L, GROSSMAN B J, KLEINMAN S, et al. Red blood cell transfusion: a clinical practice guideline from the AABB[J]. Ann Intern Med, 2012, 157(1):49-58.

[11] 曹微微,黄琬婷,李碧娟,等. 4148 例输血患者红细胞输注无效的调查分析[J]. 中国现代医学杂志,2018, 28(23):77-82.
CAO W W, HUANG W T, LI B J, et al. Investigation and analysis of invalid red blood cell transfusion in 4,148 cases of blood cell transfusion[J]. China Journal of Modern Medicine, 2018, 28(23):77-82.

[12] WANG Q, SU X, HE Y, et al. CD11c participates in triggering acute graft-versus-host disease during bone marrow transplantation [J]. Immunology, 2021, 164 (1):148-160.

[13] 王伟,李娜,袁君,等. 红细胞输注无效原因的分析[J]. 临床输血与检验,2020,22(6):649-652.
WANG W, LI N, YUAN J, et al. Research progresses on the causes of ineffective red blood cells transfusion [J]. J Clin Transfus Lab Med, 2020, 22(6):649-652.

[14] VAMVAKAS E C, BLAJCHMAN M A. Transfusion-related immunomodulation (TRIM): an update[J]. Blood Rev, 2007, 21(6):327-348.

[15] SEICEAN A, SEICEAN S, ALAN N, et al. Preoperative anemia and perioperative outcomes in patients who undergo elective spine surgery [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(15):1331-1341.

[16] HEBERT P C, WELLS G, BLAJCHMAN M A, et al. A multicenter, randomized, controlled clinical trial of transfusion requirements in critical care. Transfusion Requirements in Critical Care Investigators, Canadian Critical Care Trials Group [J]. N Engl J Med, 1999, 340 (6):409-417.

[17] BORDIN J O, HEDDLE N M, BLAJCHMAN M A. Biologic effects of leukocytes present in transfused cellular blood products[J]. Blood, 1994, 84(6):1703-1721.

[18] KARROWNI W, VORA A N, DAI D, et al. Blood transfusion and the risk of acute kidney injury among patients with acute coronary syndrome undergoing percutaneous coronary intervention[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2016, 9(9):e003279.

[19] COATES T D. Management of iron overload: lessons from transfusion-dependent hemoglobinopathies [J]. Blood, 2025, 145(4):359-371.

[20] HOD E A, ZHANG N, SOKOL S A, et al. Transfusion of red blood cells after prolonged storage produces harmful effects that are mediated by iron and inflammation [J]. Blood, 2010, 115(21):4284-4292.

[21] MUSZYNSKI J A, SPINELLA P C, CHOLETTE J M, et al. Transfusion-related immunomodulation: review of the literature and implications for pediatric critical illness [J]. Transfusion, 2017, 57(1):195-206.

[22] LIN J, WANG C, LIU J, et al. Prevalence and intervention of preoperative anemia in Chinese adults: A retrospective cross-sectional study based on national preoperative anemia database[J]. E Clinical Medicine, 2021, 36:100894.

[23] FLEGEL W A. Pathogenesis and mechanisms of antibody-mediated hemolysis [J]. Transfusion, 2015, 55 (Suppl2):S47-S58.

[24] BRODSKY R A. Warm autoimmune hemolytic anemia [J]. N Engl J Med, 2019, 381(7):647-654.

[25] FU Z, HAO X, GAO W, et al. Research progress in RBC alloimmunization[J]. Front Immunol, 2025, 16: 1677581.

[26] IBA T, HELMS J, CONNORS J M, et al. The pathophysiology, diagnosis, and management of sepsis-associated disseminated intravascular coagulation[J]. J Intensive Care, 2023, 11(1):24-33.

[27] BELIZAIRE R, MACK J, KADAUKE S, et al. Red blood cell alloantibodies are associated with increased alloimmunization against human leukocyte antigens[J]. Transfusion,2019,59(7):2256-2263.

[28] WEISS G, GANZ T, GOODNOUGH L T. Anemia of inflammation[J]. Blood,2019, 133(1):40-50.

[29] FRAENKEL P G. Anemia of inflammation:a review[J]. Med Clin North Am,2017, 101(2):285-296.

[30] EFFENBERGER-NEIDNICHT K, HARTMANN M. Mechanisms of Hemolysis During Sepsis[J]. Inflammation, 2018,41(5):1569-1581.

[31] MAQUET J, LAFAURIE M, MICHEL M, et al. Drug-induced immune hemolytic anemia:detection of new signals and risk assessment in a nationwide cohort study[J]. Blood Adv,2024,8(3):817-826.

[32] KAUFMAN R M, DINH A, COHN C S, et al. Electronic patient identification for sample labeling reduces wrong blood in tube errors[J]. Transfusion,2019,59(3):972-980.

[33] SAHIN I, REAGAN J L, NIROULA R, et al. Refractoriness to red blood cell transfusion therapy due to hypersplenism[J]. Transfusion,2018,58(11):2513-2516.

[34] PUTTER J S, SEGHATCHIAN J. Cumulative erythrocyte damage in blood storage and relevance to massive transfusions:selective insights into serial morphological and biochemical findings[J]. Blood Transfus,2017,15(4):348-356.

[35] NEMKOV T, KEY A, STEPHENSON D, et al. Genetic regulation of carnitine metabolism controls lipid damage repair and aging RBC hemolysis in vivo and in vitro[J]. Blood,2024,143(24):2517-2533.

[36] HENDRICKSON J E, MENDOZA H, ROSS R, et al. Investigation of increased platelet alloimmunization screening in the era of pathogen-reduced platelets treated with psoralen/UV light[J]. Transfusion,2020,60(3):650-651.

[37] MURPHY G J, REEVES B C, ROGERS C A, et al. Increased mortality, postoperative morbidity, and cost after red blood cell transfusion in patients having cardiac surgery[J]. Circulation,2007,116(22):2544-2552.

[38] OMAR H R, MIRSAEIDI M, SOCIAS S, et al. Plasma free hemoglobin is an independent predictor of mortality among patients on extracorporeal membrane oxygenation support[J]. PLoS One,2015,10(4):e0124034.

[39] GOONEWARDENE M, SHEHATA M, HAMAD A. Anaemia in pregnancy[J]. Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol,2012,26(1):3-24.

[40] JAMES A H. Iron deficiency anemia in pregnancy[J]. Obstet Gynecol,2021, 138(4):663-674.

[41] ROUSSEL C, MOREL A, DUSSIOT M, et al. Rapid clearance of storage-induced microerythrocytes alters transfusion recovery[J]. Blood,2021,137(17):2285-2298.

[42] 郑婷婷,施顺秋,张瑛,等. 贫血患者红细胞输注疗效的影响因素分析[J]. 临床血液学杂志,2020,33(4):275-277.
ZHENG T T, SHI S Q, ZHANG Y, et al. Analysis of the factors influencing the therapeutic effect of red blood cell transfusion in anemia patients[J]. J Clin Hematol, 2020, 33(4):275-277.

[43] CHAPUY C I, NICHOLSON R T, AGUAD M D, et al. Resolving the daratumumab interference with blood compatibility testing[J]. Transfusion, 2015, 55(6Pt2):1545-1554.

[44] 戴小波,任燕歌,曾朱君,等. 直接抗球蛋白试验阳性非自身免疫性溶血性贫血受血者的临床特征和输血对策[J]. 中国输血杂志,2013,26(6):555-557.
DAI X B, REN Y G, ZENG Z J, et al. Clinical characteristics and transfusion strategies for recipients with positive direct antiglobulin test and non-autoimmune hemolytic anemia[J]. Chin J Blood Transfus, 2013, 26(6):555-557.

[45] 叶晓芳,黄榕,张玲. 非自身免疫性溶血性贫血患者直接抗人球蛋白试验阳性对临床输血效果的影响[J]. 实用检验医师杂志,2023,15(3):238-241.
YE X F, HUANG R, ZHANG L. Impact of direct antiglobulin test positive results on blood transfusion efficacy in non-autoimmunehemolytic anemia patients[J]. J Pract Lab Physicians, 2023, 15(3):238-241.

[46] 中华预防医学会血液安全专业委员会红细胞血型意外抗体筛查专家共识编写组. 红细胞血型意外抗体筛查专家共识[J]. 中国输血杂志,2024,37(4):369-376.
Expert Consenus Writing Group of Unexpected Red Blood Cell Antibody Screening, the Blood Safety Professional Committee, Chinese Preventive Medicine Association. Expert consensus on screening for unexpected red blood cell antibodies[J]. Chin J Blood Transfus, 2024, 37(4):369-376.

[47] ZHENG C, LI S, MUELLER J, et al. Evidence for alcohol-mediated hemolysis and erythrophagocytosis[J]. Redox Biol,2025,85:103742.

[48] ROCKEY D C. Occult gastrointestinal bleeding[J]. Gastroenterol Clin North Am,2005,34(4):699-718.

[49] COOPER N, MORRISON M A, VLADESCU C, et al. Identification of occult cerebral microbleeds in adults with immune thrombocytopenia[J]. Blood, 2020, 136(25):2875-2880.

[50] REPCZYNSKA A, CIASTEK B, HAUS O. New insights into the fanconi anemia pathogenesis:a crosstalk between inflammation and oxidative stress[J]. Int J Mol Sci, 2024,25(21):11619-11635.

[51] BYRNE R A, ROSSELLO X, COUGHLAN J J, et al. 2023 ESC guidelines for the management of acute coronary syndromes[J]. Eur Heart J, 2023,44(38):3720-3826.

[52] BATEMAN R M, SHARPE M D, JAGGER J E, et al. 36th international symposium on intensive care and emergency medicine:brussels, belgium. 15-18 March 2016 [J]. Crit Care, 2016, 20(Suppl2):94.

[53] REHN M, CHEW M S, OLKKOLA K T, et al. Surviving sepsis campaign:International guidelines for management of sepsis and septic shock in adults 2021-endorsement by the Scandinavian society of anaesthesiology and intensive care medicine[J]. Acta Anaesthesiol Scand, 2022,66(5):634-635.

[54] GRASSELLI G, CALFEE C S, CAMPOROTA L, et al. ESICM guidelines on acute respiratory distress syndrome:definition, phenotyping and respiratory support strategies [J]. Intensive Care Med,2023,49(7):727-759.

[55] 陈典,隆寰宇,张丛溪,等. 2025 年 GOLD 慢性阻塞性肺疾病诊断、治疗、管理及预防全球策略更新要点解读[J]. 中国全科医学,2025,28(16):1937-1949.
CHEN D, LONG H Y, ZHANG C X, et al. Interpretation of global strategy for the diagnosis, treatment, management and prevention of chronic obstructive pulmonary disease 2026 report[J]. Chin Gen Pract, 2025, 28(16):1937-1949.

[56] 高峰. 急性缺血性脑卒中血管内治疗中国专家共识[J]. 中国脑血管病杂志,2014, 11(10):556-560.
GAO F. Chinese expert consensus on endovascular treatment of acute ischemic stroke[J]. Chin J Cerebrovasc Dis, 2014, 11(10):556-560.

[57] 中国卒中学会,中国卒中学会神经介入分会,中华预防医学会卒中预防与控制专业委员会介入学组. 急性缺血性卒中血管内治疗影像评估中国专家共识[J]. 中国卒中杂志,2017, 12(11):1041-1056.
Chinese Stroke Association, Neurointervention Branch Of Chinese Stroke Association, Intervention Group Of Stroke Prevention And Control Professional Committee Of Chinese Preventive Medicine Association. Chinese expert consensus on imaging evaluation for endovascular treatment of acute ischemic stroke[J]. Chin J Stroke, 2017, 12(11):1041-1056.

[58] ALBERS G W, MARKS M P, KEMP S, et al. Thrombectomy for stroke at 6 to 16 hours with selection by perfusion imaging[J]. N Engl J Med,2018,378(8):708-718.

[59] HEIDENREICH P A, BOZKURT B, AGUILAR D, et al. 2022 AHA/ACC/HFSA guideline for the management of heart failure:a report of the american college of cardiology/american heart association joint committee on clinical practice guidelines[J]. J Am Coll Cardiol, 2022,79(17):e263-e421.

[60] PRABHAKARAN S, GONZALEZ N R, ZACHRISON K S, et al. 2026 guideline for the early management of patients with acute ischemic stroke:a guideline from the american heart association/american stroke association [J]. Stroke,2026,57(8):e316-e436.

[61] 国家老年疾病临床医学研究中心《感染诱发的老年多器官功能障碍综合征诊治中国专家共识》撰写组, 边素艳, 曹丰, 等. 感染诱发的老年多器官功能障碍综合征诊治中国专家共识[J]. 中华老年多器官疾病杂志,2018,17(1):3-15.
National Clinical Research Center For Geriatric Diseases, the Writing Team of Chinese Expert Consensus on Diagnosis and Treatment of Multiple Organ Dysfunction Syndrome Induced byInfection in the Elderly, BIAN S Y, CAO F, et al. Chinese expert consensus on diagnosis and treatment of multiple organ dysfunction syndrome induced by infection in theelderly[J]. Chin J Mult Organ Dis Elderly, 2018, 17(1):3-15.

[62] INCE C, BOERMA E C, CECCONI M, et al. Second consensus on the assessment of sublingual microcirculation in critically ill patients:results from a task force of the European Society of Intensive Care Medicine[J]. Intensive Care Med,2018, 44(3):281-299.

[63] GERHARD-HERMAN M D, GORNIK H L, BARRETT C, et al. 2016 AHA/ACC guideline on the management of patients with lower extremity peripheral artery disease:executive summary:a report of the american college of cardiology/american heart association task force on clinical practice guidelines[J]. J Am Coll Cardiol, 2017,69(11):1465-1508.

[64] ROUBINIAN N H, PLIMIER C, WOO J P, et al. Effect of donor, component, and recipient characteristics on hemoglobin increments following red blood cell transfusion[J]. Blood,2019,134(13):1003-1013.

[65] 中华医学会血液学分会红细胞疾病学组. 静脉铁剂应用中国专家共识(2019 年版)[J]. 中华血液学杂志,2019,40(5):358-362.
Red Blood Cell Diseases (Anemia) Group, Chinese Society of Hematology, Chinese Medical Association. Chinese expert consensus on the application of intravenous iron (2019)[J]. Chin J Hematol, 2019, 40(5):358-362.

[66] MCDONAGH T A, METRA M, ADAMO M, et al. 2021 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure[J]. Eur Heart J, 2021, 42(36):3599-3726.

[67] SONG S N, TOMOSUGI N, KAWABATA H, et al. Down-regulation of hepcidin resulting from long-term treatment with an anti-IL-6 receptor antibody (tocilizumab) improves anemia of inflammation in multicentric Castleman disease[J]. Blood, 2010, 116(18):3627-3634.

[68] CERVANTES F, ROSS D M, RADINOFF A, et al. Efficacy and safety of a novel dosing strategy for ruxolitinib in the treatment of patients with myelofibrosis and anemia: the realise phase 2 study[J]. Leukemia, 2021, 35(12):3455-3465.

[69] British Committee For Standards In Haematology, MILKINS C, BERRYMAN J, et al. Guidelines for pre-transfusion compatibility procedures in blood transfusion laboratories. British Committee for Standards in Haematology[J]. Transfus Med, 2013,23(1):3-35.

[70] HILL Q A, STAMPS R, MASSEY E, et al. Guidelines on the management of drug-induced immune and secondary autoimmune, haemolytic anaemia[J]. Br J Haematol, 2017,177(2):208-220.

[71] MAYER B, BARTOLMAS T, YUREK S, et al. Variability of findings in drug-induced immune haemolytic anaemia:experience over 20 years in a single centre[J]. Transfus Med Hemother,2015,42(5):333-339.

[72] KORMOCZI G F, SAEMANN M D, BUCHTA C, et al. Influence of clinical factors on the haemolysis marker haptoglobin[J]. Eur J Clin Invest, 2006, 36(3):202-209.

[73] SOUTAR R, MCSPORRAN W, TOMLINSON T, et al. Guideline on the investigation and management of acute transfusion reactions[J]. Br J Haematol,2023,201(5):832-844.

[74] TONG T N, BLACQUIERE M, SAKAC D, et al. The utility of a monocyte monolayer assay in the assessment of intravenous immunoglobulin-associated hemolysis[J]. Transfusion,2020,60(12):3010-3018.

[75] ARNDT P A, GARRATTY G. A retrospective analysis of the value of monocyte monolayer assay results for predicting the clinical significance of blood group alloantibodies[J]. Transfusion,2004,44(9):1273-1281.

[76] HORTH R Z, JONES J M, KIM J J, et al. Fatal sepsis associated with bacterial contamination of platelets - Utah and California, august 2017[J]. MMWR Morb Mortal Wkly Rep,2018,67(25):718-722.

[77] FENWICK A J, GEHRIE E A, MARSHALL C E, et al. Secondary bacterial culture of platelets to mitigate transfusion-associated sepsis:A 3-year analysis at a large academic institution[J]. Transfusion, 2020, 60(9):2021-2028.

[78] D´ALESSANDRO A, YOSHIDA T, NESTHEIDE S, et al. Hypoxic storage of red blood cells improves metabolism and post-transfusion recovery[J]. Transfusion, 2020, 60(4):786-798.

[79] QAZI M A, RIZZATTI F, PIKNOVA B, et al. Effect of storage levels of nitric oxide derivatives in blood components[J]. F1000Res,2012,1:35-50.

[80] LEI C, YU B, SHAHID M, et al. Inhaled nitric oxide attenuates the adverse effects of transfusing stored syngeneic erythrocytes in mice with endothelial dysfunction after hemorrhagic shock[J]. Anesthesiology, 2012, 117(6):1190-1202.

[81] 桂林,黄远帅,李代渝. 一氧化氮对库存悬浮红细胞变形性的影响[J]. 现代预防医学, 2015,42(16):3001-3003.
GUI L, HUANG Y S, LI D Y. The influence of nitric oxide on deformability of red blood cellsuspension stocks[J]. Mod Prev Med, 2015, 42(16):3001-3003.

[82] 中华医学会急诊医学分会, 北京医学会急诊医学分会, 北京医师协会急救医学专科医师分会,等. 吸入一氧化氮治疗在急危重症中的临床应用专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2024,33(7):907-920.
Emergency Medicine Branch Of Chinese Medical Association, Emergency Medicine Branch Of Beijing Medical Association, Emergency Medicine Specialist Branch Of Beijing Medical Doctor Association, et al. Expert consensus on clinical application of inhaled nitric oxide therapy in critical illness[J]. Chin J Emerg Med, 2024, 33(7):907-920.

[83] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 内科输血:WS/T 622—2018[S]. 北京:中国标准出版社,2018:1-7.
National Health Commission Of The People´S Republic Of China. Internal medicine blood transfusion: WS/T 622—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018:1-7.

[84] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 儿科输血指南:WS/T795—2022[S]. 北京:中国标准出版社,2022:1-17.
National Health Commission Of The People´S Republic Of China. Guidelines for pediatric blood transfusion: WS/T 795—2022[S]. Beijing:Standards Press of China, 2022:1-17.

[85] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 围手术期患者血液管理指南:WS/T796—2022[S]. 北京:中国标准

出版社, 2022: 1-9.
National Health Commission Of The People´S Republic Of China. Guidelines for perioperative patient blood management: WS/T 796—2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022: 1-9.

[86] 雷航, 王学锋, 程晓文, 等. ABO 血型变异的分子基础研究[J]. 中国输血杂志, 2024, 37(4): 385-391.
LEI H, WANG X F, CHENG X W, et al. Molecular mechanism of ABO blood group variation[J]. Chin J Blood Transfusion, 2024, 37(4): 385-391.

[87] WANG Z, JIN S, ZHENG J, et al. Prevalence and distribution of serological characteristics of weak ABO subgroups in the Chinese population[J]. Hematol Transfus Cell Ther, 2024, 46(Suppl5): S115-S121.

[88] 刘旭映, 黄伯泉, 廖芬芳, 等. 2021—2022 年广州地区献血人群 ABO 血型筛查结果分析[J]. 中国输血杂志, 2024, 37(4): 439-443.
LIU X Y, HUANG B Q, LIAO F F, et al. ABO blood group screening results among blood donors in Guangzhou from 2021 to 2022[J]. Chin J Blood Transfus, 2024, 37(4): 439-443.

[89] 王文, 李勇, 张学友, 等. 提高红细胞意外抗体检出率解决策略初探[J]. 标记免疫分析与临床, 2022, 29(10): 1737-1740.
WANG W, LI Y, ZHANG X Y, et al. A preliminary study of the strategies to improve the screening rate of irregular antibody[J]. Labeled Immunoass Clin Med, 2022, 29(10): 1737-1740.

[90] WEISBACH V, KOHNHAUSER T, ZIMMERMANN R, et al. Comparison of the performance of microtube column systems and solid-phase systems and the tube low-ionic-strength solution additive indirect antiglobulin test in the detection of red cell alloantibodies[J]. Transfus Med, 2006, 16(4): 276-284.

[91] 马曙轩, 刘景汉, 欧阳锡林, 等. 唯酶红细胞抗体的血型血清学特性的研究[J]. 中国实验血液学杂志, 2003, 11(5): 527-529.
MA S X, LIU J H, OUYANG X L, et al. Studies on the blood group serologic characters of enzyme-only red cell antibody[J]. J Exp Hematol, 2003, 11(5): 527-529.

[92] 谭金哲, 金明艳, 陈文珠, 等. 唯酶抗体致溶血性输血反应原因追踪及文献回顾——附 1 例报告[J]. 中国输血杂志, 2020, 33(6): 597-600.
TAN J Z, JIN M Y, CHEN W Z, et al. Trace the cause of hemolytic blood transfusion induced by enzyme-only antibodies and review the literature[J]. Chin J Blood Transfusion, 2020, 33(6): 597-600.

[93] 红细胞意外抗体筛查与鉴定抗原谱构成中国专家共识起草编写组. 红细胞意外抗体筛查与鉴定抗原谱构成中国专家共识[J]. 临床输血与检验, 2024, 26(2): 156-163.
Expert Consensus Drafting Group of Composition of Antigen Spectrum of Red Blood Cells Unexpected Antibodies Screening, Identification Reagents. Chinese expert consensus on composition of antigen spectrum of red blood cells unexpected antibodies screening and identification reagents[J]. J Clin Transfus Lab Med, 2024, 26(2): 156-163.

[94] GARRATTY G. Immune hemolytic anemia associated with drug therapy[J]. Blood Rev, 2010, 24(4-5): 143-150.

[95] LI Y, LI C, ZHANG L, et al. Long-term storage protocol of reagent red blood cells treated with 0.01M dithiothreitol (DTT) for pre-transfusion testing of patients receiving anti-CD38 therapy, daratumumab[J]. Hematology, 2023, 28(1): 2186037.

[96] 竺青, 陈富强, 魏蕾, 等. 直接抗球蛋白试验阳性患者红细胞输注效果的影响因素分析[J]. 实用临床医药杂志, 2021, 25(15): 65-68.
ZHU Q, CHEN F Q, WEI L, et al. Analysis in influencing factors of red blood cell transfusioneffect in patients with positive direct antiglobulin test[J]. J Clin Med Pract, 2021, 25(15): 65-68.

[97] 曾群娟, 康怀应, 向东, 等. 热放散和酸放散对 IgG 抗-M 和抗-Ku 放散效率比较[J]. 中国输血杂志, 2025, 38(7): 964-968.
ZENG Q J, KANG H Y, XIANG D, et al. Comparison of the efficacy of heat and acid elution methods for IgG anti-M and anti-Ku[J]. Chin J Blood Transfusion, 2025, 38(7): 964-968.

[98] 中华医学会血液学分会红细胞疾病学组. 红细胞寿命测定在血液系统疾病中的临床应用中国专家共识[J]. 中华医学杂志, 2019, 99(30): 2321-2324.
Red Blood Cell Diseases (Anemia) Group, Chinese Society of Hematology, Chinese Medical Association. Chinese expert consensus on clinical application of red blood cell lifespan measurement in hematological diseases[J]. Natl Med J China, 2019, 99(30): 2321-2324.

[99] TONG T N, BRANCH D R. Use of a monocyte monolayer assay to evaluate fcgamma receptor-mediated phagocytosis[J]. J Vis Exp, 2017, 119: 55039-55045.

[100] PETZ L D. Bystander immune cytolysis[J]. Transfus Med Rev, 2006, 20(2): 110-140.

[101] MOTA M, BLEY C, ARAVECHIA M G, et al. Autoantibody formation after alloimmunization inducing bystander immune hemolysis[J]. Immunohematology, 2009, 25(1): 9-12.

[102] 陈冠伊, 查占山, 欧阳锡林, 等. 术前深度单采自体红

细胞和/或血小板储血技术应用中国专家共识[J]. 临床输血与检验,2024,26(2):145-155.
CHEN G Y, ZHA Z S, OUYANG X L, et al. Chinese expert consensus on preoperative advanced autologous apheresis[J]. J Clin Transfus Lab Med, 2024, 26(2): 145-155.

[103] HOBSON-PETERS J, AMARILLA A A, RUSTANTI L, et al. Inactivation of SARS-CoV-2 infectivity in platelet concentrates or plasma following treatment with ultraviolet C light or with methylene blue combined with visible light [J]. Transfusion,2023,63(2):288-293.

[104] 李小飞,马春娅,蔡晓红,等. 红细胞血型抗原拓展匹配适用范围中国专家共识[J]. 临床输血与检验,2024,26(3):289-298.
LI X F, MA C Y, CAI X H, et al. Chinese expert consensus on red blood cell antigen extended matching range [J]. J Clin Transfus Lab Med, 2024, 26(3):289-298.

[105] 江苏省预防医学会. 辐照血液使用指南:T/JPMA 007—2020[S]. 南京:江苏省预防医学会,2020:1-7.
Jiangsu Preventive Medicine Association. Guidelines for the use of irradiated blood: T/JPMA 007—2020 [S]. Nanjing: Jiangsu Preventive Medicine Association, 2020:1-7.

[106] 薛瑞峰,赵崇希,王培宗,等. 输注陈旧红细胞对肝细胞癌切除术后病人预后的影响[J]. 中山大学学报(医学科学版),2022,43(3):449-461.
XUE R F, ZHAO C X, WANG P Z, et al. Effect of prolonged storage of packed red blood cells on recurrence-free andoverall survivals after curative resection for hepatocellular carcinoma [J]. J Sun Yat-sen Univ (Med Sci), 2022, 43(3):449-461.

[107] 刘桂芳,金勇,袁圆,等. 消化系统恶性肿瘤患者围手术期输注不同储存时间红细胞的效果分析[J]. 医学检验与临床,2024,35(11):17-20.
LIU G F, JIN Y, YUAN Y, et al. Effect analysis of perioperative transfusion of red blood cells with different storage times in patients with digestive system malignant tumors[J]. Med Lab Sci Clin, 2024, 35(11):17-20.

[108] KEKRE N, MALLICK R, ALLAN D, et al. The impact of prolonged storage of red blood cells on cancer survival [J]. PLoS One,2013,8(7):e68820.

[109] BENNETT-GUERRERO E, VELDMAN T H, DOCTOR A, et al. Evolution of adverse changes in stored RBCs [J]. Proc Natl Acad Sci U S A,2007,104(43):17063-17068.

[110] REYNOLDS J D, AHEARN G S, ANGELO M, et al. S-nitrosohemoglobin deficiency: a mechanism for loss of physiological activity in banked blood [J]. Proc Natl Acad Sci U S A,2007,104(43):17058-17062.

[111] ZALPURI S, ZWAGINGA J J, VAN DER BOM J G. Risk factors for alloimmunisation after red blood cell transfusions (R-FACT): a case cohort study [J]. BMJ Open, 2012,2(3):e001150.

[112] PANCH S R, MONTEMAYOR-GARCIA C, KLEIN H G. Hemolytic transfusion reactions[J]. N Engl J Med, 2019,381(2):150-162.

[113] WANG Y, RAO Q, LI X. Adverse transfusion reactions and what we can do[J]. Expert Rev Hematol,2022,15(8):711-726.

[114] BOONPENG K, SHIBUTA T, HIROOKA Y, et al. Serum microRNAs as new biomarkers for detecting subclinical hemolysis in the nonacute phase of G6PD deficiency [J]. Sci Rep,2024,14(1):16029-16038.

[115] YIN Y, TIAN X, LI L, et al. First annual report of Chinese haemovigilance network[J]. Vox Sang,2021,116(6):718-724.

[116] CANNATA A, CANTONI S, SCIORTINO A, et al. Mechanical hemolysis complicating transcatheter interventions for valvular heart disease: JACC state-of-the-art review[J]. J Am Coll Cardiol,2021,77(18):2323-2334.

[117] PEREK B, SLAWEK S, MALINSKA A, et al. Late subclinical hemolysis and long-term outcomes after aortic valve replacement with On-X mechanical prostheses - a preliminary single-center report [J]. Kardiochir Torakochirurgia Pol,2017, 14(3):175-179.

[118] BUNGER V, RUSS M, KUEBLER W M, et al. Predictive potential of ECMO blood flow for hemolysis and outcome of patients with severe ARDS[J]. J Clin Med, 2024, 14(1):140-147.

[119] FURST D, TSAMADOU C, NEUCHEL C, et al. Next-generation sequencing technologies in blood group typing [J]. Transfus Med Hemother,2020,47(1):4-13.

[120] AL-RIYAMI A Z, GAMMON R R, SEHEULT J, et al. Artificial intelligence and transfusion education, research and practice:The view from the ISBT Clinical Transfusion Working Party[J]. Vox Sang,2026,121(4):481-487.

[121] SEGHATCHIAN J. An introductory commentary on the use of artificial intelligence, machine learning and TQM, as novel computational tools in big data patterns or procedural analysis, in transfusion medicine [J]. Transfus Apher Sci, 2020,59(6):102985.

(2026-07-25 收稿,09-13 修回,09-18 接收)

本文编辑:闻欣