

· 专家共识 ·

# 电子交叉配血应用中国专家共识

中国输血协会临床输血学专业委员会

**摘要:** 电子交叉配血作为一种利用计算机系统进行血型匹配的新兴技术,正逐步成为提升输血安全性与效率的重要手段。在我国整体医疗水平和民众对输血服务预期值的不断提升的背景下,传统交叉配血方法存在操作繁琐、时间成本高、应急响应能力不足等方面的局限性,使得电子交叉配血的推广与应用显得尤为迫切。电子交叉配血通过简化输血流程,优化血型匹配,显著提高了输血的精准性与安全性。虽然电子交叉配血作为独立技术已展现出显著优势,但在特定情况下,结合 Rh 分型匹配输注可进一步减少 Rh 同种意外抗体的产生,并降低输血反应风险。二者结合应用能够更全面地提升输血服务的质量,具体应用应根据临床需求灵活选择。因此,中国输血协会临床输血学专业委员会组织专家制定了本专家共识,以指导电子交叉配血及其与 Rh 分型匹配输注结合应用在我国推广,推动输血医学向高效化、智能化方向发展。

**关键词:** 电子交叉配血; Rh 分型; 匹配输血

**中图分类号:** R457.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-549X(2024)9-0975-11

**DOI:** 10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2024.09.002

## Chinese expert consensus on the implementation of electronic crossmatch

Working Party on Clinical Transfusion Medicine, Chinese Society of Blood Transfusion (CSBT)

**Abstract:** The advent of electronic crossmatch, an innovative technology leveraging computerized systems for blood type compatibility assessment, is progressively establishing itself as a pivotal method for augmenting the safety and efficacy of blood transfusions. In the context of China's advancing medical standards and rising public expectations for transfusion services, the limitations inherent in traditional crossmatch techniques, such as intricate procedures, substantial time consumption and inadequate emergency response capabilities, underscore the urgent need for the adoption and implementation of electronic crossmatch. By streamlining transfusion workflows and optimizing blood type compatibility, electronic crossmatch markedly enhances the accuracy and safety of blood transfusions. While electronic crossmatch has exhibited considerable standalone benefits, integrating it with Rh phenotyping compatible transfusion in specific scenarios can further mitigate the formation of Rh alloantibodies and diminish the risk of transfusion-associated complications. The synergistic application of both methods can more holistically elevate the quality of transfusion services, necessitating flexible deployment based on clinical exigencies. Consequently, the associations of Working Party on Clinical Transfusion Medicine of Chinese Society of Blood Transfusion have convened experts to formulate this consensus, aimed at guiding the promotion of electronic crossmatch and its integration with Rh phenotyping compatible transfusion in China, thereby propelling the transfusion system towards enhanced intelligence and operational efficiency.

**Key words:** electronic crossmatch; Rh phenotyping; compatible transfusion

## 1 制定共识的背景与意义

随着信息化和数字化的迅速发展,电子交叉配

血(electronic crossmatch, ECM)技术逐渐成为优化输血流程、提高输血安全性与效率的关键手段。传统的交叉配血方法虽然长期以来在保障输血安全方面发挥了重要作用,但其存在的局限性,如操作

并列第一执笔人:蔡晓红(1980-),女,主任技师,Email:exh8407@126.com;顾海慧(1979-),女,副主任医师,副教授,Email:haihuigu@126.com;张琦(1981-),女,副研究员,Email:friday0451@126.com;何子毅(1974-),男,主任技师,Email:zyhe\_8@163.com;雷航(1988-),男,主管技师,Email:leihang8914@163.com

共同通信作者:王学锋,Email:wxf63@shsmu.edu.cn;向东,Email:xiangdong@sbc.org.cn;钱宝华,Email:qianbh1963@163.com;夏荣,Email:xiarongcn@126.com;汪德清,Email:deqingw@vip.sina.com;胡丽华,Email:xhulh@126.com

繁琐、时间成本高、应急响应能力不足、人力成本高等,已无法完全满足当前医疗发展的需求。

同时,我国整体医疗水平的显著提升,以及民众对输血服务质量的期望日益提高,进一步推动了新技术的应用需求。ECM 通过计算机系统进行血型匹配,无需再进行传统的血清学交叉试验,显著简化了流程,提升了输血的精准性与时效性。因此,在这样的背景下,尽快在我国推广和实施 ECM 已成为当务之急。

此外,Rh 血型系统作为仅次于 ABO 血型系统的复杂血型系统,其在临床输血中的重要性不可忽视。Rh 分型匹配输注(此处的“匹配”特指献血者红细胞的 C、c、E、e 抗原种类少于或等于患者)可以有效预防 Rh 同种意外抗体的产生,减少输血相关的溶血反应及胎儿和新生儿溶血病的发生,进而提高输血治疗的安全性和有效性。结合 Rh 分型匹配输注的 ECM 的应用,有望进一步提升我国输血服务的整体水平,满足日益增长的临床需求。

然而,由于行业标准不完善、理念普及性、技术接受度、医技人员培训、资源与成本等现状问题,推广 ECM 面临一定挑战。因此,中国输血协会临床输血专业委员会组织临床输血领域的专家针对国内 ECM 应用现状,制定了如下符合我国实际情况的 ECM 应用专家共识,以助推 ECM 在我国的广泛应用。

本共识已在国际实践指南注册与透明化平台(<http://www.guidelines-registry.cn/>)完成中英文注册(注册编号:PREPARE-2024CN930)。通过文献检索及经验总结,拟定了专家共识的框架,成立共识工作组进行问题调研,形成推荐意见决策表。77 位专家进行在线投票表决,将赞成程度分为 5 个选项进行投票表决:a.完全赞成,必不可少;b.部分赞成,但有一定保留;c.部分赞成,但有较大保留;d.不赞成,但有一定保留;e.完全不赞成。根据专家投票结果,将 a 得票数 $\geq 80\%$ 定为“强推荐”、a 和 b 得票数相加 $\geq 80\%$ 定为“推荐”;a、b 和 c 得票数相加 $\geq 80\%$ 定为“建议”,其他情况视为未达成共识,则删去该条推荐意见。最终形成“强推荐”级意见 10 条,“推荐”级意见 0 条,“建议”级意见 0 条,删除推荐意见 0 条。

## 2 电子交叉配血及其应用

电子交叉配血(ECM)又称为计算机交叉配血

(computer crossmatch),是在血型鉴定和意外抗体筛查的基础上,使用计算机系统为患者筛选出 ABO/RhD 血型相容(也可拓展至其他血型抗原相容)的血液,而不再对献血者和患者做血清学交叉配血试验<sup>[1-2]</sup>。ECM 通过计算机系统管理输流程,优化血型配对,可以显著提升输血的安全性与效率<sup>[3]</sup>。ECM 是被多个发达国家卫生机构认可的 1 种输血相容性检测方法<sup>[1-2,4-6]</sup>。ECM 的发展标志着医疗信息技术在输血医学领域的突破。此技术通过自动化流程提高配血准确性和效率,减少人为错误,特别是在涉及多种血型抗原的复杂匹配时尤为关键<sup>[7-8]</sup>。近年来,ECM 在紧急情况下显示出其快速响应性,能够有效应对大量或复杂的输血需求。

### 2.1 ECM 的发展与应用现状

自从瑞典乌普萨拉大学医院于 1983 年率先实施针对红细胞成分血的 ECM 后,此技术在全球医疗领域推广,成为包括美国、英国、澳大利亚及中国香港在内的国际标准医疗操作<sup>[9]</sup>。中国香港自 1994 年引入 ECM,并于 1997 年在所有公立医疗机构中普及应用,与香港红十字血液服务中心形成网络化共享的 ECM 管理体系<sup>[3]</sup>。这一技术通过计算机自动化流程,优化了血型配对和交叉配血流程。它不仅提高了紧急状况下的医疗响应与操作速度,还通过精确的意外抗体筛查进一步提升了输血安全。中国台湾则采用包含 Rh 5 个抗原/Kidd 血型抗原纯合子及 Di<sup>a</sup>、Mur 抗原的意外抗体筛查试剂,以确保对患者与献血者的 99.5%意外抗体筛查率无遗漏<sup>[10]</sup>。中国台湾部分大型医院在 ABO/RhD 血型复查/意外抗体筛查的基础上,通过盐水介质法交叉配血后发血。同时,中国港澳台地区的采供血机构对部分献血者还检测并标识 CcEe、Jk<sup>a</sup>/Jk<sup>b</sup> 和 Mur 等抗原,以便医院输血科为产生意外抗体的患者选择相应抗原阴性红细胞或为产生自身抗体的患者选择多血型系统同型红细胞进行输注。中国是 1 个多民族国家,适用于 ECM 的意外抗体筛选红细胞抗原谱宜根据不同民族、地域特点,结合本地区红细胞血型抗原分布频率特征综合考虑<sup>[11-13]</sup>。

ECM 相较于传统血清学交叉配血具有以下优点:1)优化了输血科/血库工作流程、提高了临床输血效率;2)减少了专业技术人员在常规重复操作中的工作量,使疑难问题得到更有效的解决;3)减少标本用量,节约血液资源,减少工作人员与血液标

本接触;4)通过工作链前移,缩短交叉配血和供血时间;5)通过计算机信息系统管理减少人为差错。

## 2.2 ECM 的实施条件

### 2.2.1 基本条件

基于 ECM 已在多个国家和地区的成熟应用经验和国内相关学者多年来的临床应用可行性和安全性方面的探索成果,我国卫生健康委于 2022 年发布并实施的输血相容性检测标准(WS/T794—2022)对 ECM 基本条件作出了明确的推荐:1)计算机系统及其他关键设备应经过严格认证;2)应有确保血液检测数据采集和传输准确性的控制程序;3)计算机系统应能够阻止不相容血液的发放;4)患者 ABO/RhD 血型结果的存档中至少应有 2 个一致的结果,其中 1 个结果来自当前标本。献血者 ABO/RhD 血型复检结果正确无误;5)患者和献血者当前抗体筛查应为阴性,且患者既往无抗体筛查阳性记录。

除以上推荐的 ECM 基本条件,国际指南还提出以下实施要求:1) ABO/RhD 血型确认:如果手动输入当前血型结果,先前的血型结果不得显示在同一屏幕上。当前标本的血型结果与历史记录必须完全一致。若出现不一致,系统必须立即发出警告并阻止 ECM 的执行,直至问题解决。2) 意外抗体筛查历次结果检查:系统必须能够自动显示受血者的意外抗体历史,若发现有临床意义的意外抗体,系统应发出警告并阻止 ECM 的执行。3) 标本管理和追踪:标本必须具有唯一的标识号(如条形码),且与患者的记录关联,所有与标本处理相关的信息都应详细记录。为确保数据输入的准确性,系统应要求技术人员在提交信息前确认其准确性,手动输入的数据应通过重复输入或由第二操作员进行盲录验证。4) 其他技术要求:ECM 系统的实施需要经过充分的培训和能力评估,并且在初始实施时可能需要与传统方法分开进行,以确保系统的准确性和安全性。系统应能记录和管理交叉配血信息,允许对其进行审核和回溯<sup>[4,6]</sup>。

ECM 系统的地域适应性和个性化策略日益显示出其重要性。在中国,由于地域和人群的多样性,ECM 系统可以进行地区性定制,以更好地满足当地的临床需求。这种个性化策略可以提高 ECM 的准确性,同时增强医疗服务的个性化和有效性。此外,在应对大规模事故或灾难的突发事件中,ECM 系统显示出其不可替代的价值,通过迅速准确地处理大量的输血请求,可以有效支持紧急医疗救援工作。

**推荐意见 1:**参照 WS/T794—2022 标准推荐的电子交叉配血条件,根据地域与经济、医疗发展水平的不同需求,在不同区域因地制宜地逐步推进电子交叉配血。初始应用电子交叉配血系统,应与传统的血清学交叉配血同步运行(建议 1 年\*)或发放血液达到规定次数(建议 5 000 次\*)且未出现任何错误后,可单独实施电子交叉配血(强推荐)。

\* 来自中国香港的经验,未有正式出版物。

### 2.2.2 献血者意外抗体筛查

献血者意外抗体筛查是 ECM 的基本条件之一。近年来,中国通过开展献血者意外抗体筛查显著提升了输血安全性,如部分采供血机构采用改良微孔板木瓜酶法或微柱凝胶法大规模筛查意外抗体,有效防止溶血性输血反应的发生,使血液安全筛查水平接近发达国家<sup>[14-16]</sup>。此外,红细胞磁化技术(erythrocyte magnetization technology, EMT)的应用提高了献血者意外抗体筛查的灵敏度(90.00%)和特异性(78.69%)<sup>[17]</sup>。这些进展对于推进 ECM 和提高输血治疗的安全性与有效性具有重要意义。

**推荐意见 2:**在条件成熟的地区,逐步开展献血者意外抗体筛查,为患者实施非红细胞制品输注及全血输注的电子交叉配血奠定基础(强推荐)。

**推荐意见 3:**实施红细胞类血制品电子配血时,患者意外抗体筛查方法应符合:1)使用效期内有医疗器械注册证的抗体筛选红细胞;2)意外抗体筛选红细胞抗原表达应至少包括本地区人群所涵盖的有临床意义的血型抗原;3)意外抗体筛查方法应有室内质控及室间质评以证实其可靠性(强推荐)。

特别要注意的是意外抗体筛查试验不能检出 ABO 血型系统意外抗体,如 cisAB 亚型的抗-B 以及 A<sub>2</sub>型的抗-A<sub>1</sub>等<sup>[18-19]</sup>。由于 cisAB 和 A<sub>2</sub>在正定型中容易被判定为正常的 AB 型和 A 型,故应注意在实施 ECM 时,每 1 次进行的 ABO 血型鉴定都应特别留意是否存在上述 ABO 血型系统意外抗体。ABO 血型鉴定的反定型,对识别产生了意外抗 A 或抗 B 抗体的 ABO 亚型和避免由其引起的溶血性输血反应非常重要。

**推荐意见 4:**在开展电子交叉配血时,住院患者本次入院期内 ABO/RhD 血型至少应有 2 个一致的结果,其中 1 个来自当前标本,该标本应在输血前 3 d 内采集。同时,每次进行的 ABO 的血型鉴定都需要包括正、反定型(强推荐)。

### 2.2.3 不适用 ECM 的情况

ECM 在某些情况下不适合使用,必须进行血

清学交叉配血。任何可能导致 ABO 血型正反定型不符或 RhD 血型鉴定困难的情况,均不适用于 ECM,如出生 4 个月内的婴儿、ABO 亚型和类孟买血型、RhD 变异型(弱 D、部分 D 等)<sup>[2]</sup>。意外抗体阳性的患者,由于意外抗体间的干扰或掩盖作用,可能存在漏检意外抗体的情况,必须进行血清学交叉配血以确保输血的安全性。在中国人群中,除了 Rh 血型系统外,红细胞意外抗体还针对 MNS、Lewis、Kidd、Duffy、Diego 和 Kell 等血型系统抗原<sup>[20-23]</sup>。不同意外抗体的检出率存在较大差异,同时在不同地区人群中意外抗体检出率也存在差异。MNS 系统以抗-M 和抗-Mur/Mi<sup>a</sup> 为主, Lewis 系统则抗-Le<sup>a</sup> 多于抗-Le<sup>b</sup><sup>[24-27]</sup>; Kidd、Duffy、Diego 和 Kell 等血型系统抗体的检出率较低<sup>[24-25,28]</sup>。此外,由于意外抗体筛查细胞的对应抗原(如 Fy<sup>b</sup>、K、Mur/Mi<sup>a</sup> 及 Di<sup>a</sup> 等)的缺失或单倍剂量表达比例偏高,部分意外抗体可能会被漏检,从而导致其检出率被低估<sup>[28-31]</sup>。不同血型系统意外抗体引起输血反应的风险不同,研究表明,在中国导致患者发生输血反应的意外抗体占比前 3 依次为 Rh、Kidd 和 MNS 血型系统<sup>[22,32]</sup>。由于 Kidd 血型系统意外抗体具有快速消失,受到抗原刺激又能立即大量产生,并能引起严重的溶血性输血反应和胎儿、新生儿溶血病的特点,若既往检出 Kidd 血型系统意外抗体则患者必须输注相应抗原阴性红细胞成分<sup>[33]</sup>。

**推荐意见 5:** 血型鉴定异常以及对当前和既往意外抗体筛查阳性者,不能进行电子交叉配血,只能采用传统的血清学交叉配血。对于不明原因的红细胞输注无效或溶血性输血反应,应进一步结合血清学技术探究原因(强推荐)。

#### 2.2.4 ECM 的性能确认

在实施 ECM 前,必须进行性能确认。确认过程涵盖整个 ECM 流程,包括实验方法、仪器设备、计算机网络硬件设施、ECM 软件信息系统(或输血管理系统模块)、血液筛查检测试剂、血型鉴定试剂以及配合性判定规则等。每个子过程均需单独确认,再进行整体性能确认,以确保系统的安全性、稳定性和准确性,从而满足临床输血需求。

ECM 确认需系统性策划,运用风险分析识别关键控制点,确保整个过程在确认计划中进行。确认通常分为安装确认、运行确认和性能确认 3 个阶段。AABB 第 15 版制定了 ECM 的认证标准。如果计算机系统经过确认测试,能够预防 ABO 不配合的红细胞成分发放,可用输血前的 ABO 不配合性

检测替代血型血清学交叉配血试验。主要要求包括:检测 ABO 血型不配合性;患者 ABO 血型须经 2 次鉴定;系统中包含献血者和患者的血液信息,并确认数据接口的正确性;系统需有逻辑程序警示不配合性风险;正、反定型检测需一致,否则只能发放 O 型红细胞;采集血标本时必须充分识别患者信息及血标本有效期<sup>[2,34]</sup>。

ECM 后发生的溶血性输血反应,处理方式跟常规相同,应使用输血前、后的标本,分别进行血型复核、血清学交叉配血,直抗等实验室检查,排除一切可能原因,如血型不合、低频抗体漏检,抗筛细胞的敏感性等问题等,以尽快找到原因,保障患者输血安全。同时对信息的真实可靠性进行核查溯源,包括献血者和患者 ABO 和 Rh 分型及意外抗体筛查阴性的电子信息与输血反应查因结果是否一致,是否存在数据信息传输上的错误,软件设计上交叉配血匹配性程序设计是否严谨等<sup>[4]</sup>。

**推荐意见 6:** 子交叉配血系统可以是输血管理系统的一部分,也可以是与输血管理系统接口的软件系统,开发前需根据当地的血液资源、检测能力、技术需求设计软件功能,所有新软件投入之前需进行性能确认和安全性测试(强推荐)。

#### 2.3 血库前移的实施要求

血库前移系统是基于虚拟血库和 ECM 发展起来的智慧血液管理系统,于 1999 年由 Wong 等<sup>[35-36]</sup>提出。随着中国智能冰箱等相关物联网技术的逐步推广,以及国内输血科(血库)输血体系化和信息化管理的发展,血库前移系统也得到一定的发展应用。中国自 2018 年起,已有部分医疗机构陆续将血库前移系统运用至手术室、血液科等科室,该系统实施后缩短取血时间,促进了患者及时用血和合理用血,对提高患者输血安全性和有效性具有重要意义<sup>[37-38]</sup>。另外澳大利亚、英国等国家均已开展虚拟血库等技术,大大提升了血液使用的灵活性和适应性<sup>[36,39]</sup>。

**推荐意见 7:** 电子交叉配血系统运行时长与发放血液次数达到规定要求(建议时长 2 年\*,单位数 1 万次\*),未出现任何错误的情况下,可以在手术室、产房和急诊室等有紧急用血需求的临床科室设立由电子交叉配血系统远程控制的卫星血库,取血由授权医护人员执行。紧急非同型输血时,可以由输血科审核后,由授权医护人员执行红细胞成分取血操作(强推荐)。

\* 来自中国香港的经验,未有正式出版物。

### 3 红细胞输注 Rh 分型匹配的重要意义与应用现状

目前,我国红细胞输注一般情况下实施 ABO/RhD 血型同型输注<sup>[40]</sup>。随着输血技术水平的不断进步,基本杜绝了 RhD 阴性患者误输阳性血液产生抗-D 的机会。但是 Rh 血型系统其他 4 个抗原 C、c、E 和 e 同样不可忽视。这 4 个抗原可形成 9 种不同的表型,即 CCEE、CCEe、CCee、CcEe、Ccee、CcEE、ccEE、ccEe 和 ccee<sup>[41]</sup>。虽然其免疫原性弱于 D 抗原(免疫原性排序为 D>E>c>C>e),然而其人群多态性显著,中国人群中 CCee 表型最多,其次为 CcEe 和 Ccee;且该 3 类表型占比合计可达 90% 以上<sup>[42-48]</sup>。而在 RhD 阴性人群中,一般以 ccee 最常见,其次为 Ccee 和 ccEe;合计占比可达 97%<sup>[49]</sup>。目前 Rh 血型系统的意外抗体是我国输血患者产生的主要意外抗体(36.4%~76.9%),以抗-E 最为常见(24.34%~42.5%),其次依次为抗-c、抗-C 和抗-e;而根据文献研究的结果统计,Rh 分型随机输血,C、c、E、e 免疫机会高达 40%<sup>[50-51]</sup>。因此,医疗机构开展 Rh 分型匹配输注具有重要意义,特别是针对多次输血患者、有潜在生育可能的女性患者等特殊群体。

Rh 分型匹配输注可明显减少 Rh 同种意外抗体的产生概率,即使针对已产生 Rh 同种意外抗体,但抗体水平低于检测下限(如抗球蛋白法每个红细胞上平均<200 个 IgG 分子)的患者,Rh 分型匹配输注也可以规避相关抗体可能造成的输血反应,提高输血治疗的安全性与效果<sup>[52-54]</sup>。尽管如此,国内实施 Rh 分型匹配输血的医疗机构仍然较少,造成这一现状的主要原因包括:1) 标准方面的因素:当前行业统一的规范及标准未对红细胞 Rh 分型匹配输注的适用人群等作出具体规定;2) 理念因素:特定人群精准输血及其相关知识的普及不足,部分技术人员和临床医生对最优输血实践的认知有限,对 Rh 分型匹配输注的重要性缺乏足够重视;3) 资源因素:血液资源不足,尤其在一些库存量较小的医疗机构,使得筛选特定 Rh 抗原匹配输血面临一定困难;4) 成本因素:大部分采供血机构和医疗机构尚未普及对 E、c、C、e 抗原的检测,这意味着若要实行 Rh 分型匹配输注,将会增加相应的成本支出。为了改变这一现状,部分省市已经出台了 Rh 分型匹配输注指南,以呼吁和推动这一重要举措的实施<sup>[55-62]</sup>。

**推荐意见 8:** 优先推荐以下情况的输注红细胞患者,进行 Rh 分型匹配输注:1) 需长期反复输血的患者,如原发性或继发性血液系统疾病患者、移植患者、肿瘤患者、慢性消化道出血患者;2) 有潜在生育可能的女性、孕妇等;3) 已产生意外抗体的患者;4) 红细胞自身抗体阳性患者,如自身免疫性溶血性贫血患者,但 Rh 类抗体患者除外;5) 未查明原因的红细胞输注无效或溶血性输血反应的患者;6) 新生儿、婴幼儿及儿童;7) 其他经过医生评估认为存在较高红细胞免疫风险的情况(强推荐)。

值得一提的是,在罕见的情况下,通过检测 RhD、C、c、E 和 e 抗原可能检出 Rh 系统稀有血型患者,如 Rh<sub>null</sub>、RhD--、Rh<sub>mod</sub> 全缺及部分缺失等。此类稀有血型患者,一旦产生 Rh 系统意外抗体,很难找到与之匹配的献血者,应尽可能通过稀有血型库找到匹配的血液予以输注。

### 4 Rh 分型匹配的电子交叉配血及其流程

由于 Rh 血型系统的多态性及其在输血相关免疫反应中的重要性,结合 Rh 分型匹配的 ECM 应运而生。它通过将 ECM 与更加精细的 Rh 分型相结合,既提升输血的安全性和有效性,又满足现代化医疗高效、个体化的需求。上海瑞金医院、重庆西南医院、青岛大学附属医院、香港大学深圳医院等都基于 Rh 分型匹配的 ECM,对传统的 ECM 进行了一定的拓展。上海瑞金医院自 2020 年 7 月以来,采用涵盖 Di<sup>a</sup> 和 Mur 抗原的意外抗体筛选细胞,完成了 45 000 多例 Rh 分型匹配 ECM,发放超过 70 000 U 红细胞悬液,未见溶血性输血反应,显示 ECM 提高了输血安全性和缩短了发血时间,改善了传统血清学交叉配血中存在的不足。

#### 4.1 红细胞成分血及全血 Rh 抗原匹配原则

在开展 Rh 分型匹配的 ECM 条件成熟的区域,推荐在 ABO/RhD 血型同型且有效期先到先用的基础上,按照等级 I—III 的优先顺序实施红细胞成分血及全血的 Rh 分型匹配<sup>[63-67]</sup>。

等级 I: 完全匹配,即献血者与患者 Rh(C、E、c、e)4 个抗原均相同;

等级 II: 抗原回避原则,即避免患者因输血引入新的 Rh 抗原,如患者为 CCEe,献血者可为 CCEE 或 CCee;

等级 III: 引入弱抗原原则,即若无法满足献血者 Rh 抗原种类 ≤ 患者 Rh 抗原种类,则可按照免

疫原性强弱顺序(E>c>C>e),弱抗原优先引入。

需要注意的是,在既往或当前标本意外抗体筛查阳性的情况下,不具备实施 ECM 的条件,但对于需要且有必要进行 Rh 分型匹配输注的患者(如需反复输血的患者,且产生的意外抗体为 Rh 血型系统意外抗体,或其他血型系统合并 Rh 系统意外抗体),仍然可以使用计算机管理系统按照 Rh 分型匹配的原则检索 Rh 抗原相容的红细胞成分血,然后再进行血清学交叉配血试验(检出 Rh 血型系统意外抗体时);或是在这些 Rh 抗原相容的血液成分里再进行特异性抗原阴性红细胞成分血的筛选与血清学交叉配血(检出 Rh 血型系统以外的意外抗体时)。在有条件的地区,这一策略甚至可以拓展至更多的红细胞血型抗原。结合血清学交叉配血,通过计算机系统进行的血型抗原匹配技术,能够有效处理复杂和特殊的输血需求,如稀有血型患者、具有多种意外抗体或抗体特异性不明确的患者。中国数个采供血机构已对献血者进行包括 Rh 血型在内的多种血型系统抗原鉴定,这对临床上已产生意外抗体的患者血液预选极为重要<sup>[68]</sup>。

**推荐意见 9:**在 ABO/RhD 血型同型 ECM 基础上,有条件的地区,按照“完全匹配”“抗原回避原则”“抗原无法回避时弱抗原先引入”的原则,结合储存有效期综合考虑,选择 Rh 分型匹配的红细胞成分血输注(强推荐)。

**推荐意见 10:**在技术成熟的地区,逐步开展献

血者 Rh 分型检测,进一步为适用的患者实施 Rh 分型匹配的电子交叉配血创造条件(强推荐)。

### 4.2 Rh 分型匹配的 ECM 流程

在条件成熟的区域开展 Rh 分型匹配的 ECM 时,较传统的 ECM 流程要求更高;对使用的输血管理系统要求更高,除需匹配 ABO/RhD 血型外,还需根据前文中的匹配方案和血液成分有效期进行最优化的匹配,并排序供工作人员筛选,基本的流程见图 1。在首次采血进行 ABO/RhD 血型鉴定与意外抗体筛查的同时,对患者进行 Rh 分型检测。同时,也按照同样策略对献血者的血型抗原进行检测与信息预存。对于意外抗体筛查阴性者,第 2 次采血进行血型复检(距离首次意外抗体筛查>3 d 时还需进行复检)后直接采用 ECM 给予患者 Rh 分型匹配输注。当患者意外抗体筛查阳性时,若仅检出 Rh 血型系统抗体,第 2 次采血进行血型复检(若距首次意外抗体筛查≤3 d,则不需要进行意外抗体筛查复检,否则还需进行复检)后,利用计算机管理系统的匹配原则,筛选出 Rh 抗原分型匹配的红细胞成分血,血清学交叉配血相合后发血。当患者意外抗体鉴定出 Rh 血型系统以外意外抗体或 Rh 血型系统合并其他血型系统抗体时,血型复检后采用盲配或意外抗体鉴定后筛选对应的抗原阴性且 Rh 抗原分型匹配的红细胞进行输注,以最大限度规避免疫性输血反应风险(此步骤是否在 Rh 分型匹配性基础上实施,宜结合具体情况综合考虑)。

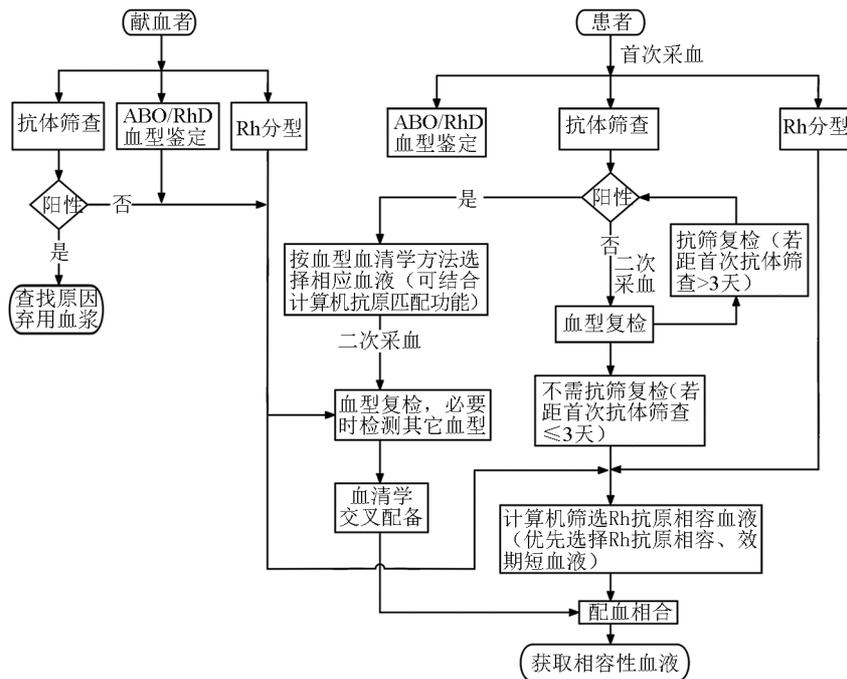


图 1 Rh 分型匹配的 ECM 推荐流程图

Figure 1 Recommended ECM workflow for Rh typing and matching

## 5 国内实施电子交叉配血的挑战

目前,ECM 在国内推广还存在着一些阻力。

### 5.1 相关法规和标准仍不完善

ECM 在全国范围内推广缺乏统一的操作规范和质量标准,可能导致执行过程中的不一致性和安全隐患,故制定完善的 ECM 技术标准是全国范围内推广的基础条件。同时,需要有关部门明确相关收费的问题,以便规范化相关流程。

### 5.2 认知和接受度较低

医务人员对 ECM 的认知和接受程度存在差异,且 ECM 对系统、管理等都需要特定的知识和技能,因此需要加强对医护人员的培训,提升对 ECM 系统的认知和理解深度。

### 5.3 试剂质量要求缺乏标准

目前国内意外抗体筛选试剂红细胞尚未有统一质量标准,仅有少量的市售抗体筛选红细胞试剂的抗原谱涵盖 Di<sup>a</sup>、Mur 等中国人群有临床意义的抗原且保证了重要抗原的纯合子细胞,给 ECM 的推广带来了难度。而且,国内大部分的采供血机构未对献血者进行意外抗体筛选,这将增加医疗机构的检测成本,相关部门应出台相应标准保障抗体筛选试剂厂家依据我国人群特色设计涵盖包含 Mur、Di<sup>a</sup>等抗原在内的试剂,保障 ECM 安全的实施。

### 5.4 缺乏有效的数据验证与系统维护机制

数据准确性和系统稳定性是提高 ECM 可靠性的关键,因此需要建立有效的数据验证流程和定期系统维护机制。而 ECM 系统需要定期更新和维护,以适应医疗标准和临床需求,包括硬件、软件更新和系统功能持续优化。

另外,除了以上几点,在 Rh 分型匹配的 ECM 方面,也存在一定的挑战。缺乏全面的 Rh 抗原检测和配型,可能导致献血者、患者 Rh 血型最终无法匹配或完全匹配,无法完全规避输血免疫以及回忆性输血反应的风险。献血者尚未普遍开展 C、c、E、e 抗原的检测,这对广泛实施 Rh 精准匹配的电子配血也提出了挑战。医疗机构在实施这些技术时还需考虑到不同患者的具体情况和地域差异,以实现真正的个体化医疗。

## 6 结语

ECM 作为 1 种现代化的计算机技术,不仅通

过自动化流程优化了血型匹配,还提升了输血的安全性和有效性,特别是在紧急情况下展现出了快速反应的能力。与此同时,Rh 分型匹配输注与 ECM 相结合,可以实现更加精准的血液管理,进一步减少输血反应的发生。这不仅顺应了现代医疗的高标准需求,也为提高输血信息管理系统的高质量发展提供了有力支持。虽然在推广应用中还面临诸多挑战,但这一技术的未来潜力无疑将深刻影响输血医疗行业,推动输血医学向智慧数字化方向发展,持续为患者提供更高质量的医疗服务。

### 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

本文不涉及伦理批准和知情同意。

### 作者贡献/Authors' Contribution

并列第一作者(按汉语拼音排序):白连军(中国医学科学院北京协和医院)、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)、陈凤花(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、陈青(南京大学医学院附属鼓楼医院)、陈舒(浙江省血液中心)、董伟群(昆明医科大学第一附属医院)、杜春红(天津医科大学总医院)、傅云峰(中南大学湘雅三医院)、甘佳(中国医学科学院北京协和医院)、宫济武(北京医院)、顾星(海军军医大学第三附属医院)、顾海慧(海军军医大学第一附属医院)、桂嵘(中南大学湘雅三医院)、郝珂(浙江省人民医院)、何子毅(东莞市中心血站)、胡丽华(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、黄远帅(西南医科大学附属医院)、姬艳丽(广州血液中心)、雷航(上海交通大学医学院附属瑞金医院)、李归宁(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、李小飞(首都医科大学附属北京友谊医院)、李志强(上海市第六人民医院)、李忠俊(陆军军医大学第二附属医院)、梁珊珊(西安交通大学医学院第一附属医院)、刘晓艳(复旦大学附属妇产科医院)、刘鱼(中国医学科学院输血研究所)、陆元善(上海市第一人民医院)、栾建凤(中国人民解放军东部战区总医院)、罗梅宏(上海中医药大学附属宝山医院)、骆宏(广州血液中心)、苗天红(北京市红十字血液中心)、穆士杰(空军军医大学唐都医院)、钱宝华(海军军医大学第一附属医院)、秦莉(四川大学华西医院)、瞿珍(武汉血液中心)、戎瑞明(复旦大学附属中山医院)、邵超鹏(深圳市第二人民医院)、苏斌(同济大学附属第十人民医院)、谭斌(四川大学华西医院)、汤朝晖(上海交通大学医学院附属新华医院)、唐晓峰(海军军医大学第二附属医院)、唐长玖(江西省人民医院)、汪德清(解放军总医院第一医学中心)、王宝燕(西安交通大学医学院第一附属医院)、王海燕(青岛大学附属医院)、王杰(山东省血液中心)、王静(上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、王琪(中国医科大学附属第一医院)、王秋实(中国医科

大学附属盛京医院)、王全立(中国医学装备协会输血医学装备技术专业委员会)、王学锋(上海交通大学医学院附属瑞金医院)、王勇军(中南大学湘雅二医院)、文爱清(陆军军医大学大坪医院)、吴江(上海交通大学医学院附属仁济医院)、武云香(太原市血液中心(太原市输血技术研究所))、夏荣(复旦大学附属华山医院)、向东(上海市血液中心)、谢珏(浙江大学医学院附属第一医院)、许先国(浙江省血液中心)、姚春艳(中国人民解放军陆军军医大学第一附属医院)、尹文(中国人民解放军空军军医大学第一附属医院)、于洋(解放军总医院第一医学中心)、张军(蚌埠医科大学第一附属医院)、张鹏宇(天津医科大学肿瘤医院)、张琦(复旦大学附属华山医院)、张永项(香港大学深圳医院)、查占山(海军军医大学第一附属医院)、赵蓬(军事医学研究院)、赵树铭(贵黔国际总医院)、周吉成(河池市第一人民医院)、周世乔(南方医科大学深圳医院)、周小玉(南京医科大学第一附属医院)、朱长太(上海交通大学医学院附属第六人民医院)、朱自严(上海市血液中心)、祝丽丽(贵州医科大学附属医院)、庄金木(南方医科大学深圳医院)。

### [参考文献]

- [1] ARSLAN O. Electronic crossmatching[J]. *Transfus Med Rev*, 2006, 20(1): 75-79.
- [2] 车嘉琳, 何子毅, 田兆嵩. 电子交叉配血[M]. 1 版. 北京: 人民卫生出版社, 2017: 78-79.
- CHE J L, HE Z Y, TIAN Z S. Electronic cross matching of blood[M]. 1<sup>st</sup> Ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2017: 78-79.
- [3] CHAN A H, CHAN J C, WONG L Y, et al. From maximum surgical blood ordering schedule to unlimited computer crossmatching: evolution of blood transfusion for surgical patients at a tertiary hospital in Hong Kong[J]. *Transfus Med*, 1996, 6(2): 121-124.
- [4] BUTCH S H. Guidelines for implementing an electronic crossmatch [M]. Maryland: American Association of Blood Banks Bethesda, 2003: 1-34.
- [5] NIGHTINGALE M, PROWSE C. BCSH: the specification and use of information technology (IT) systems in blood transfusion practice[J]. *Transfus Med*, 2007, 17(3): 150.
- [6] British Committee for Standards in Haematology, MILKINS C, BERRYMAN J, et al. Guidelines for pre-transfusion compatibility procedures in blood transfusion laboratories[J]. *Transfus Med*, 2013, 23(1): 3-35.
- [7] 刘学军, 李丽兰. 电子交叉配血的研究现状[J]. *国际输血及血液学杂志*, 2023, 46(4): 314-319.
- LIU X J, LI L L. Research status on electronic crossmatching [J]. *Int J Blood Transfus Hematol*, 2023, 46(4): 314-319.
- [8] 施艺璇, 何苏英, 彭永正, 等. 电子匹配信息系统辅助的 Rh 血型五抗原配合性输注的安全性和有效性研究[J]. *临床输血与检验*, 2023, 25(3): 379-383.
- SHI Y X, HE S Y, PENG Y Z, et al. Study on the safety and efficacy of Rh blood type antigen compatibility transfusion assisted by an electronic matching information system[J]. *J Clin Transfus Lab Med*, 2023, 25(3): 379-383.
- [9] REESINK H W, DAVIS K, WONG J, et al. The use of the electronic (computer) cross-match [J]. *Vox Sang*, 2013, 104(4): 350-364.
- [10] 向东, 骆群. 我国血型参比实验室现状与展望. 中国输血行业发展报告(2021) [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021: 235-244.
- XIANG D, LUO Q. Current situation and prospect of blood group reference laboratory in China. Annual report on development of China's blood collection and supply industry (2021) [M]. Beijing: Social Sciences Academic Press (China), 2021: 235-244.
- [11] 红细胞血型抗原拓展匹配适用范围中国专家共识编写组, 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.
- Expert Consensus Drafting Group of Red Blood Cell Antigen Extended Matching Range. Chinese expert consensus on red blood cell antigen extended matching range[J]. *J Clin Transfus Lab Med*, 2024, 26(3): 289-298.
- [12] 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): 369-375.
- Expert Consensus 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 Transfusion*, 2024, 37(4): 369-376.
- [13] 赵树铭. 个体化输血治疗与电子交叉配血[J]. *中国输血杂志*, 2013, 26(2): 100-103.
- ZHAO S M. Individualized blood transfusion therapy and electronic cross-matching[J]. *Chin J Blood Transfusion*, 2013, 26(2): 100-103.
- [14] 蔡茵, 曹斌, 周喆, 等. 上海地区无偿献血者血液中不规则抗体的调查[J]. *中国输血杂志*, 2017, 30(7): 791-793.
- CAI Y, CAO B, ZHOU Z, et al. Investigation of irregular antibodies in blood samples from donors in Shanghai area [J]. *Chin J Blood Transfusion*, 2017, 30(7): 791-793.
- [15] 黄力勤, 邬林枫, 李彤, 等. 全面开展献血者意外抗体筛查结果分析和不同检测模式成本比较[J]. *中国输*

- 血杂志, 2022, 35(3):324-327.
- HUANG L Q, WU L F, LI T, et al. Results analysis of unexpected antibody screening for blood donors and cost comparison of two detection modes [J]. *Chin J Blood Transfusion*, 2022, 35(3):324-327.
- [16] HE Z Y, CHEN Q K, CHEN S B, et al. Is it necessary for screening irregular antibodies of blood donors [J]? *Asia-Pacific Journal of Blood Types and Genes*, 2018, 2(1):53-58.
- [17] 曹斌, 周国平, 郑岚, 等. 红细胞磁化技术用于献血者不规则抗体筛查的试验研究 [J]. *检验医学与临床*, 2019, 16(9):1254-1256.
- CAO B, ZHOU G P, ZHANG L. Red blood cell magnetization is used for irregular antibody screening of blood donors [J]. *Lab Med Clin*, 2019, 16(9):1254-1256.
- [18] ZHAO H, MIAO T H, YAN F, et al. The serological and genetic characterization of CisAB blood group in a Chinese family [J]. *Transfus Apher Sci*, 2015, 53(2):220-224.
- [19] YING Y L, HONG X Z, XU X G, et al. Serological characteristic and molecular basis of A2 subgroup in the Chinese population [J]. *Transfus Apher Sci*, 2013, 48(1):67-74.
- [20] 王谦, 燕备战, 于洋, 等. 31766 名患者红细胞血型不规则抗体分析 [J]. *中国输血杂志*, 2011, 24(11):966-968.
- WANG Q, YAN B Z, YU Y. Analysis of ofirregular antibodies to red blood cell in 31 766 Patients [J]. *Chin J Blood Transfusion*, 2011, 24(11):966-968.
- [21] 曹微微, 舒象武, 李碧娟, 等. 55481 例住院拟输血患者红细胞血型不规则抗体分析 [J]. *临床输血与检验*, 2013, 15(3):238-240.
- CAO W W, SHU X W, LI B J, et al. Analysis of irregular antibodies to red blood cell in 55481 inpatients with transfusion [J]. *J Clin Transfus Lab Med*, 2013, 15(3):238-240.
- [22] YU Y, WANG Y, SUN X L, et al. Relevance and specificity of red blood cell alloantibodies in patients from China during 1994-2013 [J]. *Zhongguo Shi Yan Xue Ye Xue Za Zhi*, 2015, 23(6):1734-1741.
- [23] WANG Q S, YANG Q N, BAI Y Z, et al. Frequency of RBC alloantibodies in Chinese surgical patients [J]. *Transfus Med Hemother*, 2012, 39(4):283-286.
- [24] CHEN C X, TAN J Z, WANG L X, et al. Unexpected red blood cell antibody distributions in Chinese people by a systematic literature review [J]. *Transfusion*, 2016, 56(4):975-979.
- [25] MO Z, LI H, HUANG L, et al. Prevalence and specificity of RBC alloantibodies in the general hospitalised population in Guangxi [J]. *Transfus Med*, 2015, 25(5):313-319.
- [26] 王丽, 刘颖, 李文娟, 等. 8775 例拟输血患者不规则抗体检出情况及危险因素分析 [J]. *临床输血与检验*, 2020, 22(5):480-483.
- WANG L, LIU Y, LI W J, et al. Screening results and risk factors analysis of irregular antibodies in 8 775 patients receiving blood transfusions [J]. *J Clin Transfus Lab Med*, 2020, 22(5):480-483.
- [27] 郑艳玲, 洪强, 王前明, 等. 抗-Mur 在闽南地区人群分布频率及其导致新生儿溶血病的临床研究 [J]. *中国实验血液学杂志*, 2022, 30(6):1824-1828.
- ZHENG Y L, HONG Q, WANG Q M. Clinical study on the distribution frequency of anti-Mur in Southern Fujian area and its cause of hemolytic disease of the newborn [J]. *Journal of Experimental Hematology*, 2022, 30(6):1824-1828.
- [28] 许亚莉, 吴继博, 徐华, 等. 多中心联合筛查红细胞血型不规则抗体的大数据分析 [J]. *中国输血杂志*, 2018, 31(8):453-455.
- XU Y L, WU J B, XU H, et al. Big data analysis of multi-center screening for irregular antibodies of erythrocyte blood group [J]. *Chin J Blood Transfusion*, 2018, 31(8):823-825.
- [29] 张保萍, 张嵘, 王文婷, 等. 谱细胞鉴定剂量效应分析偏差致抗-C 抗体漏检 1 例 [J]. *临床输血与检验*, 2021, 23(2):236-239.
- ZHANG B P, ZHANG R, WANG W T, et al. A missed detection of anti-C antibody attributed to deviation in dose-response analysis during spectrum cell identification [J]. *J Clin Transfus Lab Med*, 2021, 23(2):236-239.
- [30] 孙晓琳, 于洋, 关晓珍, 等. "剂量效应" 现象对意外抗体鉴定的影响 [J]. *中国实验血液学杂志*, 2015, 23(1):222-227.
- SUN X L, YU Y, GUAN X Z, et al. Influence of "dose effect" on unexpected antibody identification [J]. *Journal of Experimental Hematology*. 2015, 23(1):222-227.
- [31] 陈春霞, 魏曾珍, 谭金哲, 等. 国内抗体筛查细胞试剂比对 [J]. *中国输血杂志*, 2017, 30(11):1243-1245.
- CHEN C X, WEI Z Z, TAN J Z, et al. The comparison of red blood cell reagents to screen unexpected antibodies [J]. *Chin J Blood Transfusion*, 2017, 30(11):1243-1245.
- [32] 向东, 范亮峰, 刘曦, 等. 免疫性溶血性输血反应 100 例分析 [J]. *临床输血与检验*, 2022, 24(1):11-15.
- XIANG D, FAN L F, LIU X, et al. Analysis of 100 cases of immune hemolytic transfusion reaction [J]. *J Clin Transfus Lab Med*, 2022, 24(1):11-15.

- [33] 高娃,何燕京,白英哲,等.2012-2017 年某三甲医院患者 Kidd 血型系统特异性抗体回顾调查[J]. 中国输血杂志,2019,32(7):682-685.  
GAO W, HE Y J, BAI Y Z, et al. Retrospective investigation of specific antibodies against Kidd blood group system in a single hospital patient population, from 2012 to 2017 [J]. Chin J Blood Transfusion, 2019, 32(7): 682-685.
- [34] LYNNE U, ALDER B C, COHN C S, et al. Standards for blood banks and transfusion services[M]. 33rd ed. Maryland: Association for the Advancement of Blood & Biotherapies (AABB), 2022:42.
- [35] WONG K F, LEE A W, HUI H L, et al. Operating theater blood transaction system. A "virtual" blood transfusion service that brings the blood bank to the operating table[J]. Am J Clin Pathol, 1999, 112(4):481-484.
- [36] COX C, ENNO A, DEVERIDGE S, et al. Remote electronic blood release system [J]. Transfusion, 1997, 37(9):960-964.
- [37] 程聪,李莹,吕翠,等.基于闭环输血管理信息和血库前移构建手术用血智慧管理体系[J]. 中国输血杂志,2021,34(9):949-951.  
CHENG C, LI Y, LV C, et al. Establishment of intelligent management system of surgical blood based on closed-loop blood transfusion information management and blood bank forward system[J]. Chin J Blood Transfusion, 2021, 34(9):949-951.
- [38] 程聪,程华伟,赵林,等.血库前移系统在术中输血的应用探讨[J]. 中国输血杂志,2019,32(6):592-595.  
CHENG C, CHENG H W, ZHAO L, et al. Application of blood bank antedispacement system in intraoperative blood management[J]. Chin J Blood Transfusion, 2019, 32(6):592-595.
- [39] STAPLES S, O'CALLAGHAN C, STAVES J, et al. Electronic remote blood issue: near patient blood allocation using an automated blood storage system [J]. Transfusion, 2017, 57(8):2059-2060.
- [40] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 输血相容性检测标准 WS/T 794-2022[S]. 2022.
- [41] STAPLES S, O'CALLAGHAN C, STAVES J, et al. Organization of the gene (RHCE) encoding the human blood group RhCcEe antigens and characterization of the promoter region[J]. Genomics, 1994, 19(1):68-74.
- [42] 陈尚良,曾月婷,廖扬勋,等. Rh C、c、E、e 抗原在输血相容性中的意义[J]. 临床输血与检验, 2015, 17(1): 1-3.  
CHEN S L, ZENG Y T, LIAO Y X, et al. The role of Rh C, c, E and e antigens in the compatibility of blood transfusion[J]. J Clin Transfus Lab Med, 2015, 17(1):1-3.
- [43] TORMEY C A, STACK G. Immunogenicity of blood group antigens: a mathematical model corrected for antibody evanescence with exclusion of naturally occurring and pregnancy-related antibodies[J]. Blood, 2009, 114(19):4279-4282.
- [44] KAUSHANSKY K, LICHTMAN M A, PRCHAL J T, et al. Williams hematology [M]. 10th ed. New York. McGraw Hill, 2021:2451.
- [45] 肖泽斌,庄文,黄蓝生,等.汕头市无偿献血者 Rh 血型分布状况[J]. 临床输血与检验, 2011, 13(2):171-172.  
XIAO Z W, ZHUANG W, HUANG L S, et al. Analysis of Prevalence of Rh Blood Group Phenotypes Among Voluntary Blood Donors in Shantou City [J]. J Clin Transfus Lab Med, 2011, 13(2):171-172.
- [46] 刘运保,古淦元,喻红玲,等.清远市瑶族人群血型分布调查[J]. 中国输血杂志,2008,21(6):460-461.  
LIU Y B, GU G Y, YU H L, et al. A Study on the distribution of ABO blood groups among the Yao ethnic population in Qingyuan city [J]. Chin J Blood Transfusion, 2008, 21(6):460-461.
- [47] 兰炯采,周华友,白旭华,等.新疆维吾尔族 Rh 血型特征[J]. 中国实验血液学杂志, 2007, 15(4):885-887.  
LAN Q C, ZHOU H Y, BAI X H, et al. Investigation of the characteristic of Rh blood group of Uygur nationality in Xinjiang [J]. Journal of Experimental Hematology, 2007, 15(4):885-887.
- [48] 吴争胜,江涛.住院患者 Rh 表型血清学分析及临床应用[J]. 浙江临床医学,2016,18(8):1515-1516.  
WU Z S, JIANG T. Serological analysis and clinical application of Rh phenotype in inpatients [J]. Zhejiang Clinical Medical Journal, 2016, 18(8):1515-1516.
- [49] 闻才李,王思贤,张慧,等.国内 Rh 血型系统 E、e、C、c 抗原同型输注现状[J]. 临床检验杂志,2023, 41(2):139-141.  
WEN C L, WANG S X, ZHANG H, et al. The status of homologous transfusion of E, e, C, and c antigens in the Rh blood group system in China [J]. Chinese Journal of Clinical Laboratory Science, 2023, 41(2):139-141.
- [50] 高凯旋,张少强,杨元铭,等.电子配血技术对减少输血患者 Rh 血型系统同种抗体产生的意义[J]. 中国输血杂志, 2021, 34(3):210-213.  
GAO K X, ZHANG S Q, YANG Y M, et al. Electronic crossmatching based on Rh typing: reducing the production of Rh system alloantibody in blood transfusion recipients [J]. Chin J Blood Transfusion, 2021, 34(3):210-213.
- [51] 马婷,杨江存,宋耀军,等.51 283 例住院患者与献血者 Rh 血型分布和分析[J]. 细胞与分子免疫学杂志,

- 2018,34(1):70-74.
- MA T, YANG J C, SONG Y J, et al. Distribution of Rh blood group in 51 283 cases of inpatients and voluntary blood donors[J]. Chin J Cell Mol Immunol, 2018, 34(1):70-74.
- [52] MERRY A H, THOMSON E E, RAWLINSON V I, et al. Quantitation of IgG on erythrocytes: Correlation of number of IgG molecules per cell with the strength of the direct and indirect antiglobulin tests[J]. Vox Sang, 1984, 47(1):73-81.
- [53] HENDROCKSON J E, TORMEY C A. Rhesus pieces: genotype matching of RBCs[J]. Blood, 2018, 132(11):1091-1093.
- [54] CESARE F D, TENORI L, LUCHINAT C, et al. Association of plasma metabolites and lipoproteins with Rh and ABO blood systems in healthy subjects[J]. J Proteome Res, 2022, 21(11):2655-2663.
- [55] 四川省医师协会. Rh 血型相容性输血指南(试行)[S]. 2023.
- [56] 深圳市医师协会. Rh 血型相容性输血指南(试行)[S]. 2021.
- [57] 青岛市医学会. Rh 血型相容性输血指南(试行)[S]. 2021.
- [58] 江西省输血协会. 江西省 Rh 血型相容性输血专家共识[S]. 2022.
- [59] 广东省医院协会. Rh 血型抗原检测应用标准[S]. 2024.
- [60] 广东省医院协会. Rh 血型抗原检测应用标准 T/GD-PHA 004-2023[S]. 2024.
- [61] 中国输血协会. 采供血机构 ABO/Rh 血型鉴定室内质量控制 T/CSBT1-2018[S]. 2018.
- [62] 输血相容性检测实验室 RhD 血型检测策略专家共识编写组. 输血相容性检测实验室 RhD 血型检测策略专家共识[J]. 中国输血杂志, 2023, 36(5):365-372.
- Expert Consensus Writing Group on RhD Blood Group Testing Strategies for Blood Transfusion Compatibility Testing Laboratories. Expert consensus on RhD blood group testing strategies in blood transfusion compatibility testing laboratories[J]. Chin J Blood Transfusion, 2023, 36(5):365-372.
- [63] WESTHOFF C M. The Rh blood group system in review: a new face for the next decade[J]. Transfusion, 2004, 44(11):1663-1673.
- [64] MALTA-SILVA M C, FIDELIS ARAUJO N C, NEVES VIEIRA O V, et al. Dried blood spots of pooled samples for RHD gene screening in blood donors of mixed ancestry[J]. Transfus Med, 2015, 25(5):337-341.
- [65] GOWLAND P, GASSNER C, HUSTINX H, et al. Molecular RHD screening of RhD negative donors can replace standard serological testing for RhD negative donors[J]. Transfus Apher Sci, 2014, 50(2):163-168.
- [66] 孔艺蓉, 杨元铭, 黄祖洲, 等. 某院 Rh 表型分布及配合性临床输血应用探讨[J]. 中国输血杂志, 2019, 32(4):355-358.
- KONG Y R, YANG Y M, HUANG Z Z, et al. Application study of Rh phenotype distribution and the management of clinical transfusion in a hospital[J]. Chin J Blood Transfusion, 2019, 32(4):355-358.
- [67] 张利, 杨洪军, 彭涛, 等. Rh 抗原配型输血的临床应用分析[J]. 临床血液学杂志, 2022, 35(10):695-699.
- ZHANG L, YANG H J, PENG T, et al. Analysis of Rh antigen matching in clinical blood transfusion[J]. J Clin Hematol, 2022, 35(10):695-699.
- [68] 曾劲峰, 黄力勤, 邬林枫, 等. 献血人群 Rh(CE) 表型筛查策略决策树的建立和分析[J]. 国际检验医学杂志, 2022, 43(24):2982-2986.
- ZENG J F, HUANG L Q, WU L F, et al. Establishment and analysis of decision tree for Rh(CE) phenotypic screening strategies in blood donors population[J]. Int J Lab Med, 2022, 43(24):2982-2986.

(2024-09-02 收稿, 09-20 修回)

本文编辑: 闻欣