

• 临床研究 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.20.006
网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241014.1643.002\(2024-10-14\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241014.1643.002(2024-10-14))

ZZAP 试剂处理异体细胞在自身抗体患者疑难配血中的应用^{*}

刘不尽,崔丹荔,邹海曼,卿 芸,代华友,黄 霞[△]
(重庆市血液中心输血研究二所,重庆 400052)

[摘要] **目的** 探讨 ZZAP 试剂处理同种异体红细胞用于吸收试验,在排除红细胞自身抗体对输血前试验干扰中的应用价值。**方法** 对 2017 年 1 月至 2024 年 2 月该中心收治的 413 例因红细胞自身抗体干扰输血前试验的病例标本进行血清学特征的回顾性分析,采用不同方法进行抗体鉴定,根据抗体鉴定时方法使用情况将患者分为 3 组,即自身吸收组(以自身细胞吸收试验后的血清行抗体鉴定及交叉配血, $n=87$)、未吸收组(患者血清行抗体鉴定及交叉配血, $n=277$)、同种吸收组(以 ZZAP 试剂处理后的异体同种红细胞吸收试验后的血清行抗体鉴定及交叉配血, $n=49$),并选取其中 77 例经 ZZAP 试剂处理的异体细胞吸收和未经吸收试验的患者,详细调查输血有效率及同种抗体检出情况,比较输血前后血红蛋白、红细胞计数、红细胞比容变化,分析 ZZAP 试剂处理异体细胞后的同种细胞吸收方法对排除自身抗体干扰及提高输血疗效的作用。**结果** 存在红细胞自身抗体患者的抗人球蛋白试验(直接法)分型结果多为 IgG 阳性和 IgG+C3d 阳性,自身抗体多为温自身抗体和冷温混合型自身抗体。同种吸收组和未吸收组的患者输血后血红蛋白、红细胞计数、红细胞比容较输血前均有改善。同种吸收组的同种抗体检出率(42.86%)显著高于未吸收组的检出率(12.64%)及自身吸收组的检出率(11.49%),差异有统计学意义($P<0.001$)。同种吸收组输血总有效率(95.92%)显著高于未吸收组(78.57%),差异有统计学意义($P=0.016$)。**结论** 经 ZZAP 试剂处理的同种细胞吸收,可作为自身吸收不可操作时的替代方案,有效地排除自身抗体对输血前试验的干扰,提高输血安全性和有效性。

[关键词] ZZAP 试剂;自身抗体;同种抗体;吸收试验;疑难交叉配血
[中图法分类号] R457.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)20-3072-05

Application of ZZAP reagent treating allogenic erythrocyte in autoantibodies patients with difficult blood matching^{*}

LIU Bujin, CUI Danli, ZOU Haiman, QING Yun, DAI Huayou, HUANG Xia[△]
(Second Institute of Blood Transfusion Research, Chongqing Municipal
Blood Center, Chongqing 400052, China)

[Abstract] **Objective** To explore the application value of ZZAP reagent in treating allogeneic erythrocytes for absorption experiment use and in excluding the interference of erythrocyte autoantibodies in pre-transfusion tests. **Methods** The serological characteristics of 413 cases of erythrocyte autoantibodies interference in pre-transfusion tests in this center from January 2017 to February 2024 was retrospectively analyzed. The antibody identification adopted different methods. The patients were divided into 3 groups according to the antibody identification method: self-absorption group (the serum after autologous cell absorption test conducted the antibody identification and cross matching, $n=87$), unabsorption group (the serum of the patients conducted the antibody identification and cross-matched, $n=277$) and allogenic absorption group (the serum after allogeneic erythrocyte absorption test treated by ZZAP reagent conducted the antibody identification and cross-matched, $n=49$). Among them, 77 cases of allogenic absorption treated by ZZAP reagent and without absorption test were selected and conduct the detailed survey on the blood infusion effective rate and iso-antibody detection situation. The changes of red blood cell (RBC) count, hemoglobin (Hb) and hematocrit (Hct) were compared before and after blood transfusion. The effect of allogenic cells absorption method for excluding the autoantibodies interference and increasing the blood transfusion effect after ZZAP reagent treating allogenic cells was analyzed. **Results** The typing results of antihuman globulin test (direct method) in the pa-

^{*} 基金项目:重庆市科卫联合医学科研项目(2022MSXM128);重庆市自然科学基金项目(CSTB2022NSCQ-MSX1237)。 [△] 通信作者, E-mail: xiahuangyy@163.com。

tients with RBC autoantibodies were mainly IgG positive and IgG+C3d positive, and the autoantibodies were mainly the warm autoantibodies and cold and warm mixed autoantibodies. HB, RBC Hct after blood transfusion in the allogenic adsorption group and unabsorption group all were improved. The alloantibody detection rate in the allogenic adsorption group was 42.86%, which was significantly higher than 12.64% in the unabsorbed group and 11.49% in the autologous adsorption group, and the differences were statistically significant ($P<0.001$). The total effective rate of blood transfusion in the allogenic adsorption group was 95.92%, which was significantly higher than 78.57% in the unabsorption group, and the differences were statistically significant ($P=0.016$). **Conclusion** The adsorption of allogenic cells after ZZAP treatment could serve as a substitute scheme for the inoperable autoadsorption, which effectively excludes the interference of autoantibodies on the pre-transfusion test, and increase the safety and effectiveness of blood transfusion.

[Key words] ZZAP reagent; autoantibody; alloantibody; adsorption; difficult blood cross matching

红细胞自身抗体不仅破坏患者自身红细胞,还可能干扰同种抗体的检出和交叉配血。当患者进行输血相容性检测时,常常由于交叉配血不合而延迟输血,甚至可能因漏检同种抗体而造成输血无效或急性/迟发性溶血性输血反应^[1-2]。目前排除其干扰输血相容性检测的方法,多以自身红细胞吸收患者血清中的自身抗体为主,然后进行抗体筛查与鉴定^[3]。但存在红细胞自身抗体的患者,部分存在严重贫血,有时难以获得足够红细胞用于自身抗体吸收,或者患者近期有输血史,使得部分自身吸收试验难以实施^[4]。鉴于此,本研究对送检本中心的 413 例红细胞自身抗体患者标本进行血清学特征的回顾性分析,探讨 ZZAP 试剂(二硫苏糖醇和木瓜酶的混合物)处理同种异体红细胞用于吸收实验,在排除红细胞自身抗体对输血前试验干扰中的应用价值,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集 2017 年 1 月至 2024 年 2 月重庆市各医疗机构送检至本中心进行疑难交叉配血的 413 例标本,标本均为血清中检测到红细胞自身抗体且红细胞直接抗人球蛋白试验阳性。其中男 190 例,女 221 例;年龄 4 个月至 92 岁,中位年龄 65 岁。本研究已经过中心伦理审查通过(审批号:2021-001)。

由于不同时段实验室针对自身抗体采用了不同的处理方法,按照抗体鉴定时选用的方法,将 413 例患者分为未吸收组、自身吸收组、同种吸收组;未吸收组以患者血清行抗体鉴定及交叉配血,自身吸收组以自身细胞吸收试验后的血清行抗体鉴定及交叉配血,同种吸收组以同种红细胞吸收试验后的血清行抗体鉴定及交叉配血。为比较同种吸收组与未吸收组输血疗效的差异,本研究还进一步调查近 1 年委托检测的患者,排除临床资料缺失、发血后未输血及输血后未复查血常规的情况,记录 77 例患者的输血疗效。

1.2 试剂与仪器

抗 A/抗 B 血型定型试剂、抗-C、抗-c、抗-E、抗-e、抗-IgG 抗人球蛋白试剂、抗-C3d 抗人球蛋白试剂(上海血液生物医药有限责任公司),抗-D(美国密理博公司),

抗-Jk^a、抗-Jk^b、抗体鉴定谱细胞(荷兰 Sanquin 公司), ZZAP 试剂(长春博德生物技术有限责任公司),微柱凝胶卡[奥森多医疗器械贸易(中国)有限公司]。仪器为 KA-2200 型台式离心机(日本久保田公司),电热恒温水浴箱(上海跃进医疗器械有限公司),微柱凝胶卡式孵育器及离心机[奥森多医疗器械贸易(中国)有限公司]。

1.3 方法

1.3.1 红细胞血型鉴定

采用试管盐水法进行 ABO 血型鉴定、Rh 血型抗原检测、Kidd 血型抗原检测;采用抗人球蛋白试验(直接法)进行抗-IgG、抗-C3d 的检测;采用试管盐水法、微柱凝胶卡式法进行抗体鉴定。试管盐水法、抗人球蛋白试验(直接法)、微柱凝胶卡式法、自身红细胞吸收试验按照《全国临床检验操作规程(第 4 版)》进行操作;酸放散试验、异体红细胞制备及同种吸收试验按试剂说明书及参考文献[5-6]操作。

1.3.2 自身红细胞吸收试验

将 1 mL 患者浓缩红细胞经生理盐水洗涤 3 次与 1 mL 患者血清混匀,根据患者自身抗体性质冷或温,选择 4℃或 37℃吸收 60 min,自身抗体是混合型时先冷吸收 60 min 后,细胞微热放散后再温吸收 60 min,吸收期间多次混匀。1 000 r/min 离心 5 min,上清液为吸收后血清,吸收后血清与酸放散试验阴性的自身细胞反应,如仍有反应重复吸收过程。

1.3.3 异体红细胞制备

采用 ZZAP 试剂进行异体红细胞制备。将 200 μ L 1%木瓜酶溶液(半胱氨酸激活)、1 mL 0.2 mol/L 二硫苏糖醇、800 μ L pH=6.5 的磷酸盐缓冲液(PBS)混匀。筛选与患者 C、c、D、E、e、Jk^a、Jk^b 抗原同型或特异性比患者少的 O 型献血者红细胞,取浓缩红细胞 1 mL 加入配制好的 ZZAP 试剂,混匀后 37℃孵育 30 min,期间多次混匀,生理盐水洗涤 3 次,验证 M、N、Fy^a、Fy^b、S、K、k 抗原已处理为阴性后备用。

1.3.4 同种红细胞吸收试验

取患者血清 1 mL 与制备的异体细胞混匀,根据患者自身抗体性质冷或温,分别选择 4℃或 37℃吸收条件,吸收 60 min,期间多次混匀。如患者自身抗

体既有冷反应性,又有温反应性,需制备双份异体细胞,先进行 4℃ 吸收 60 min,再进行 37℃ 吸收 60 min。吸收后 1 000×g 离心 5 min,上清液为吸收后血清,与吸收用同一人份红细胞反应,如阳性则重复吸收过程。

1.3.5 交叉配血和血液选择原则

鉴定出抗体特异性的患者筛选了对应抗原阴性供者配血;吸收后未确定抗体特异性的患者,挑选与吸收后血清交叉配血主侧阴性的供者;未经过吸收患者有自身抗体不能排除同种抗体时,选择 Rh 分型与患者同型或特异性少于患者的供者配血,以凝集不强于自身对照且凝集相比最弱原则挑选供者;自身抗体具有血型抗原特异性时,选择缺乏该特异性抗原的供者。

1.3.6 回访调查和输注疗效评价

输血疗效评价依据文献[7]中标准建立评价指标。红细胞输注疗效分为输注无效、部分有效、输注有效,其中输注无效定义为患者输注红细胞成分后 24 h 内检测血红蛋白水平,输注后血红蛋白水平不高于输注前;输注有效定义为输注每单位红细胞后血红蛋白水平增量不低于 5 g/L×60/患者体重;输注部分有效定义为输注后血红蛋白水平高于输注前,但其增量低于 5 g/L×60/患者体重。总有效率=(有效例数+部分有效例数)/总例数×100%。发血 1 周内电话回访输血科,调查输血后 24 h 内血常规结果及有无溶血性输血反应发生。

1.4 统计学处理

采用 SPSS27.0 软件对数据进行统计分析。一般信息和临床特征应用描述性分析。计数资料采用例数或百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 血型血清学检测结果

2.1.1 抗人球蛋白试验(直接法)检测结果及自身抗体特征

根据患者红细胞分别与抗人球蛋白试剂抗-IgG、抗-C3d 的反应结果,进行抗人球蛋白试验(直接法)检测,结果显示,IgG 阳性共 194 例(46.97%),C3d 阳性共 32 例(7.75%),IgG + C3d 阳性共 187 例(45.28%)。根据自身抗体与红细胞结合的最适温度分为温自身抗体、冷自身抗体、冷温混合型抗体,结果显示,温自身抗体 225 例(54.48%),冷自身抗体 98 例(23.73%),冷温混合型抗体 90 例(21.79%)。

2.1.2 自身抗体合并存在同种抗体的检出情况

实验室在不同时期采用了不同方法进行抗体鉴定,根据抗体筛查鉴定时方法使用情况将患者分为 3 组,即自身吸收组、未吸收组、同种吸收组,同种吸收组的同种抗体检出率明显高于自身吸收组和未吸收组($P<0.05$)。见表 1。66 例患者检出存在同种抗体,其中,Rh 血型系统同种抗体占 57.58%(38/66),

依次为抗-E、抗-c 及抗-cE 32 例,抗-e、抗-C 及抗-Ce 5 例,抗-C^w 1 例。其他合并存在的同种抗体有:抗-S 5 例(其中 1 例合并存在抗-E);抗-M 3 例;抗-N 1 例;抗-Jk^a 3 例;抗-Jk^b 2 例(其中 1 例合并抗-cE);抗-Fy^a 1 例;抗-Le^a 2 例;抗-Mur 1 例;抗-Wra 5 例(其中 1 例合并存在抗-C^w)。另有未确定抗体特异性患者 8 例。以上检出的同种抗体均检测证实了患者缺乏相应抗原,排除了自身抗体具有同种特异性的情况,但由于未进行缺乏抗原的细胞的吸收放散试验,未对类同种抗体的情况进行区别和分析。

表 1 3 组患者同种抗体检出情况比较

组别	<i>n</i>	检出同种抗体(<i>n</i>)	检出率(%)	χ^2	<i>P</i>
自身吸收组	87	10	11.49	29.974	<0.001
未吸收组	277	35	12.64		
同种吸收组	49	21	42.86 ^{ab}		

^a: $P<0.05$,与自身吸收组比较;^b: $P<0.05$,与未吸收组比较。

2.2 交叉配血和血液选择

研究中按照 1.3.5 所述选择交叉配血供者,3 组中交叉配血主侧相合和不合的情况见表 2。交叉配血主侧相合率,同种吸收组达 100.00%,而自身吸收组为 88.51%,未吸收组配血主侧均不合。在 413 例患者中有 126 例选择了交叉配血主侧相合的血液进行输注,而 287 例未吸收或无法完全吸收自身抗体的患者,按照相关专家共识选择了 Rh 分型与患者同型或特异性少于患者的供者配血,挑选主侧凝集不强于自身对照且凝集相比最弱的供者,进行了交叉配血主侧不相合的血液输注。

表 2 自身抗体患者交叉配血情况[*n*(%)]

组别	<i>n</i>	交叉配血主侧相合	交叉配血主侧不合
自身吸收组	87	77(88.51)	10(11.49)
未吸收组	277	0	277(100.00)
同种吸收组	49	49(100.00)	0
合计	413	126(30.51)	287(69.49)

2.3 输血疗效调查

对 77 例患者进行输血疗效调查。同种吸收组 49 例以吸收后的血清行交叉配血,未吸收组 28 例以患者血清行交叉配血。患者的疾病分类遵循了《疾病和有关健康问题的国际统计分类(第 10 版)》的标准。患者基本情况见表 3。同种吸收组红细胞输注量为(3.05±1.68)U,未吸收组患者红细胞输注量为(3.21±1.34)U,两组比较,差异无统计学意义($t=-0.440,P>0.05$);输血后两组血红蛋白、红细胞计数、血细胞比容比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。两组输血后平均血红蛋白、红细胞计数、血细胞比容均明显高于输血钱,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 4。同种吸收组输血的总有效率明显高于未吸收

组,差异有统计学意义($P<0.05$),见表5。患者均未发生溶血性输血反应。

表 3 调查输血疗效的患者基本情况($n=77$)

项目	同种吸收组 (n)	未吸收组 (n)	构成比 (%)
性别			
男	18	15	42.86
女	31	13	57.14
年龄			
≤15岁	1	1	2.60
>15~40岁	5	2	9.09
>40~60岁	13	7	25.97
>60岁	30	18	62.34

续表 3 调查输血疗效的患者基本情况($n=77$)

项目	同种吸收组 (n)	未吸收组 (n)	构成比 (%)
疾病分类			
血液和造血器官疾病	35	17	67.53
消化系统疾病	7	1	10.39
呼吸系统疾病	2	4	7.79
肿瘤	2	3	6.49
骨骼肌肉系统和结缔组织疾病	1	2	3.90
症状体征和异常临床检测结果	0	1	1.30
泌尿系统疾病	1	0	1.30
心血管系统疾病	1	0	1.30

表 4 两组输血前后实验室指标变化($\bar{x}\pm s$)

组别	n	时间	血红蛋白(g/L)	红细胞计数($\times 10^{12}/L$)	血细胞比容(%)
同种吸收组	49	输血前	46.29±10.86	1.46±0.54	14.84±4.35
		输血后	63.45±17.46 ^a	2.04±0.73 ^a	19.82±5.62 ^a
未吸收组	28	输血前	46.39±11.52	1.46±0.45	13.80±4.47
		输血后	62.00±16.28 ^a	2.01±0.71 ^a	18.35±5.86 ^a

^a: $P<0.05$,与输血前比较。

表 5 两组红细胞输注的疗效比较

组别	n	有效[n (%)]	部分有效[n (%)]	无效[n (%)]	总有效率(%)	χ^2	P
同种吸收组	49	28(57.14)	19(38.78)	2(4.08)	95.92	5.759	0.016
未吸收组	28	15(53.57)	7(25.00)	6(21.43)	78.57		

3 讨 论

红细胞自身抗体可能是由于细菌、病毒等微生物与自身抗原之间存在相同的抗原结构,刺激交叉反应的免疫应答;或是感染导致自身抗原改变,免疫系统针对变化的抗原产生^[5-8]。抗人球蛋白试验(直接法)检测结果显示,患者多为IgG阳性和IgG+C3d阳性,单C3d阳性较少,与刘凤霞等^[5]、张连生等^[9]的报道的结果基本一致,抗人球蛋白试验(直接法)分型结果对临床进行自身免疫性溶血性贫血的分型具有参考意义。

目前常应用传统吸收试验排除自身抗体的影响^[9]。然而,传统吸收试验的应用也存在一定局限性:(1)自身红细胞吸收法要求只适用于<3个月无输血史的患者,且自身免疫性溶血性贫血患者一般都因贫血症状导致自身红细胞不足,自身吸收效果不佳。(2)同种细胞吸收法要求选择与患者Rh、MNSs、Duffy、Kidd等血型系统同型的细胞进行吸收,耗时长,同时难以避免异体细胞因具有某些血型抗原而吸收同种抗体的风险。迄今为止,尚未有一种方法被广泛应用,以有效解决具有近期输血史或自体吸收效果不佳的患者中自身抗体干扰的问题。本研究中使用ZZAP试剂处理异体细胞,是由于ZZAP试剂通过破坏红细

胞表面Kell、MNS、Duffy、LW、Dombrock、Knops系统的抗原^[6],可减少吸收用红细胞因具有某些血型抗原而吸收患者同种抗体的风险^[3],该方法为自身抗体的排除提供了一种新的思路。

本研究发现,与未吸收组相比,经过ZZAP试剂处理后的同种吸收组,同种抗体检出率明显提高(42.86% vs. 12.64%)。自身抗体阳性患者多为血液系统疾病、消化系统疾病及实体肿瘤患者,存在慢性贫血需反复输血,这是产生同种抗体的重要危险因素。有研究表明,慢性定期输血患者中7%~23%存在同种抗体^[10-13]。对于存在红细胞自身抗体合并同种抗体的患者而言,需选择同种抗体对应抗原阴性的红细胞进行输注,可提高输血安全性及有效性^[14]。本研究中,同种吸收组红细胞输注的总有效率明显高于未吸收组($P<0.05$),证实了规避同种抗体输血的必要性。另外,同种吸收组的交叉配血主侧相合率达100.00%,表明该方法可以有效排除自身抗体对输血相容性检测的干扰。配血时依据专家共识^[8]的建议,未吸收组确保了匹配Rh抗原的输注,由于Rh血型系统的同种抗体占比较意外抗体的占比更高^[15],该组患者无溶血性输血反应发生。由于前期临床资料缺失,本研究仅收集了近1年委托检测的77例有自身

抗体患者的临床信息并调查输注疗效,存在一定的局限性。

使用 ZZAP 试剂处理后的同种异体红细胞进行吸收试验,有助于解决患者无法进行自身吸收或自身吸收效果不佳的难题,也避免了传统的同种吸收需寻找多个血型同型红细胞的难点。由于异体红细胞易得,ZZAP 试剂成本较低,ZZAP 试剂处理红细胞的实验易于操作,该方法在实验效率及难度方面均可弥补传统方法的不足。并且同种吸收组的同种抗体检出率高,输血总有效率也较高。本研究充分证实了该方法的可行性和有效性。但该方法也存在缺陷,如 ZZAP 试剂不会使 s 抗原变性,可能漏检抗-s,但中国人群 s 阴性罕见,s 抗原表达率为 99.09%~100.00%^[16],故实际漏检抗-s 概率不高。也可能漏检 Lewis、P、I 系统同种抗体,但 Lewis、P、I 系统同种抗体多无临床意义^[6]。

综上所述,经 ZZAP 试剂处理的同种异体红细胞吸收,可快速且有效地避免自身抗体对输血相容性检测的干扰,有助于提高同种抗体检出率,从而作为自身吸收不可操作时的替代方案,保障输血的安全性和有效性。

参考文献

[1] 兰炯采. 加强对自身免疫性溶血性贫血输血前试验的研究[J]. 中国输血杂志,2012,25(4):295-296.

[2] LEGER R M,GARRATTY G. Evaluation of methods for detecting alloantibodies underlying warm autoantibodies[J]. Transfusion,1999,39(1):11-16.

[3] 易峰,何锐洪,袁文声,等. 不同自身抗体吸收法的比较与分析[J]. 重庆医学,2015,44(28):3996-3998.

[4] 何燕京,白英哲,王秋实. 血清稀释技术在自身免疫性溶血性贫血患者输血管理中的应用[J]. 中国输血杂志,2018,31(7):760-762.

[5] 刘凤霞,黄蓉,王勇军,等. 自身抗体干扰输血相容性检测处理对策[J]. 中国输血杂志,2021,34(8):803-808.

[6] 汪德清. 输血技术操作规程(输血科部分)[M]. 北京:人民卫生出版社,2016:111-113.

[7] 于洋,孙晓琳,马春娅,等. 61 例自身免疫性溶血

性贫血患者血型血清学特征及输血疗效评估[J]. 中国实验血液学杂志,2013,21(5):1275-1279.

[8] 夏荣,张琦,陈勤奋. 自身免疫性溶血性贫血患者输血前试验及临床输血专家共识[J]. 中国输血杂志,2017,30(7):663-665.

[9] 张连生,李莉娟,陈慧玲. 溶血性贫血诊断进展[J]. 临床血液学杂志,2013,26(7):443-445,449.

[10] YU Y,MA C,SUN X,et al. Frequencies of red blood cell major blood group antigens and phenotypes in the Chinese Han population from Chinese mainland [J]. Int J Immunogenet,2016,43(4):226-235.

[11] CHOU S T,JACKSON T,VEGE S,et al. High prevalence of red blood cell alloimmunization in sickle cell disease despite transfusion from Rh-matched minority donors[J]. Blood,2013,122(6):1062-1071.

[12] SEFERI I,XHETANI M,FACE M,et al. Frequency and specificity of red cell antibodies in thalassemia patients in Albania[J]. Int J Lab Hematol,2015,37(4):569-574.

[13] ZAIDI U,BORHANY M,ANSARI S,et al. Red cell alloimmunisation in regularly transfused beta thalassemia patients in Pakistan [J]. Transfus Med,2015,25(2):106-110.

[14] PETZ LAWRENCE D. A physician's guide to transfusion in autoimmune haemolytic anaemia [J]. Br J Haematol,2004,124(6):712-716.

[15] KARAFIN M S,WESTLAKE M,HAUSER R G,et al. NHLBI Recipient Epidemiology and Donor Evaluation Study-III (REDS-III). Risk factors for red blood cell alloimmunization in the Recipient Epidemiology and Donor Evaluation Study (REDS-III) database [J]. Br J Haematol,2018,181(5):672-681.

[16] 马春娅,李小飞,于洋,等. 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.