

· 临床研究 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.06.008

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20240304.0954.008\(2024-03-06\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20240304.0954.008(2024-03-06))

## 血液辐照对悬浮红细胞中红细胞微粒释放及创伤患者深静脉血栓形成的影响\*

武丽芳<sup>1</sup>, 陆 华<sup>2</sup>, 许桂平<sup>2△</sup>

(重庆医科大学附属第二医院:1. 检验科;2. 输血科, 重庆 400010)

**[摘要]** **目的** 探讨血液辐照对悬浮红细胞(SRBC)中红细胞微粒(RMP)释放及创伤患者深静脉血栓(DVT)形成的影响。**方法** 收集该院 2022 年未辐照 SRBC 和辐照 SRBC 血瓣各 105 例,检测 RMP 和电解质随储存时间的变化。收集该院 2018 年 1 月至 2023 年 4 月创伤患者 297 例,其中未输血患者 148 例(未输血组),有红细胞(RBC)输血的患者 149 例(RBC 输血组),其中行未辐照 SRBC 输血的患者 76 例(未辐照组)、含有辐照 SRBC 输血的患者 73 例(辐照组),分析各组之间 DVT 发生率的差异。**结果** 与未辐照 SRBC 血瓣相比,辐照 SRBC 血瓣中 RMP、K<sup>+</sup> 分别从第 3 天[(5 280±402)个/μL vs. (1 839±384)个/μL、(14.1±1.4)mmol/L vs. (5.8±0.3)mmol/L]增加到第 42 天[(57 393±3 966)个/μL vs. (32 310±2 077)个/μL、(31.3±1.1)mmol/L vs. (19.8±1.9)mmol/L]。RBC 输血组比未输血组的 DVT 发生率更高(30.2% vs. 11.5%,  $P<0.001$ )。辐照组比未辐照组 DVT 发生率更高(38.4% vs. 22.4%,  $P<0.05$ ),辐照 SRBC 输血与 DVT 发生率增加相关( $OR=2.16, 95\%CI:1.06\sim4.42, P=0.03$ ),DVT 发生率随输注辐照 SRBC 含量增加而升高。**结论** SRBC 辐照后 RMP 升高更快,辐照 SRBC 输血增加创伤患者 DVT 风险,其发生率与辐照 SRBC 含量呈正相关。

**[关键词]** 血液辐照;悬浮红细胞;红细胞微粒;深静脉血栓;储存损伤

**[中图分类号]** R457.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)06-0844-06

## Effects of blood irradiation on the release of red blood cell microparticles from suspended red blood cells and deep vein thrombosis in trauma patients\*

WU Lifang<sup>1</sup>, LU Hua<sup>2</sup>, XU Guiping<sup>2△</sup>

(1. Department of Laboratory Medicine; 2. Department of Blood Transfusion, the Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

**[Abstract]** **Objective** To explore the effect of blood irradiation on the release of red blood cell microparticles (RMP) in suspended red blood cells (SRBC) and the formation of deep vein thrombosis (DVT) in trauma patients. **Methods** In 2022, 105 cases of unirradiated SRBC and 105 cases of irradiated SRBC blood braid were collected to detect the changes of RMP and electrolyte with storage time. A total of 297 trauma patients from January 2018 to April 2023 were collected, including 148 patients without blood transfusion (the non-transfusion group) and 149 patients with red blood cell (RBC) transfusion (the RBC transfusion group), including 76 patients without SRBC transfusion (the non-irradiation group) and 73 patients with SRBC transfusion (the irradiation group). The differences in the incidence of DVT among the groups were analyzed. **Results** Compared with the non-irradiation SRBC, RMP and K<sup>+</sup> in the irradiation SRBC increased from [(5 280±402) particles/μL vs. (1 839±384) particles/μL and (14.1±1.4) mmol/L vs. (5.8±0.3)mmol/L] on day 3 to [(57 393±3 966) particles/μL vs. (32 310±2 077) particles/μL and (31.3±1.1) mmol/L vs. (19.8±1.9) mmol/L] on day 42. The RBC transfusion group had a higher incidence of DVT than the non-transfusion group (30.2% vs. 11.5%,  $P<0.001$ ). The incidence of DVT in the irradiation group was higher than that in the non-irradiation group (38.4% vs. 22.4%,  $P<0.05$ ). Transfusion of irradiated SRBC was as-

\* 基金项目:重庆市自然科学基金项目(cstc2020jcyjmsxmX0168);重庆医科大学附属第二医院“宽仁英才”计划项目(KY2019Y024)。

△ 通信作者, E-mail: guipingxu@cqmu.edu.cn.

sociated with an increased incidence of DVT ( $OR=2.16, 95\%CI:1.06-4.42, P=0.03$ ), and the incidence of DVT increased with the increase of the percentage of input irradiated SRBC. **Conclusion** After SRBC irradiation, RMP increases faster, and SRBC transfusion increases the risk of DVT in trauma patients, and the incidence is positively correlated with the percentage of irradiated SRBC.

**[Key words]** blood irradiation; suspended red blood cells; red blood cell microparticles; deep vein thrombosis; storage lesion

红细胞(red blood cell, RBC)在保存过程中会发生储存损伤,其主要表现在腺苷三磷酸(adenosine triphosphate, ATP)先升高后降低、2,3-二磷酸甘油酸(2,3-DPG)下降、S-亚硝基血红蛋白(SNO-Hb)下降、乳酸增加与 pH 值降低、结合珠蛋白下降、 $K^+$  浓度增加、生物活性分子堆积(如细胞因子、组胺等)、RBC 形态球形棘状改变、磷脂酰丝氨酸外翻等<sup>[1-3]</sup>。此外,在 RBC 保存过程中,其细胞膜可向细胞外释放大小为  $0.1\sim 1.0\ \mu\text{m}$  的囊泡,这些囊泡称为红细胞微粒(red blood cell-derived microparticles, RMP),RMP 数量随着 RBC 保存时间延长而增加<sup>[4]</sup>。目前研究发现, $Ca^{2+}$  升高、ATP 缺失、 $K^+$  升高、GPCR 等信号通路的激活是促进 RMP 产生的重要因素<sup>[4-6]</sup>。进一步研究发现 RMP 具有促进凝血、促进炎症反应、加速一氧化氮清除、促进内皮细胞黏附等功能<sup>[6]</sup>。由于 RMP 功能的多样性,RMP 被认为与地中海贫血、阵发性睡眠性血红蛋白尿症等血栓并发症有关<sup>[7]</sup>,也可能是输血后血栓并发症的主要因素<sup>[8]</sup>。

血液辐照(通常为  $\gamma$  射线)可以减灭淋巴细胞的免疫活性,辐照后的血液多用于器官移植患者,达到预防输血相关性移植物抗宿主病的目的<sup>[9]</sup>。 $\gamma$  射线直接使淋巴细胞核 DNA 变性,使其停止增殖,但也会损伤其他细胞。有研究报道,当受到辐照时,RBC 脂质过氧化、细胞膜受损、血浆  $K^+$  升高、乳酸脱氢酶和血红蛋白浓度升高、细胞弹性和变形能力降低<sup>[10-11]</sup>。由于  $K^+$  是 RMP 产生的重要原因之一,所以悬浮红细胞(suspended red blood cells, SRBC)经辐照后 RMP 含量有可能会增加。在临床使用过程中,富余的辐照 SRBC 也常用于其他非移植患者。鉴于 RMP 的促凝血功能及其与输血后血栓形成的关系<sup>[6,12]</sup>,因此将辐照 SRBC 输注给非移植患者,尤其是好发深静脉血栓(deep vein thrombosis, DVT)的创伤患者<sup>[13]</sup>,可能会增加其 DVT 的发生率。本研究旨在探讨血液辐照后 SRBC 中 RMP 的变化特点,分析辐照 SRBC 输血与创伤患者 DVT 形成之间的关系,现报道如下。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

#### 1.1.1 献血员资料

收集 2022 年本院输血科献血员未辐照 SRBC 和

辐照 SRBC 血样各 105 例,辐照由重庆市血液中心采用德国 Biobeam GM8000 辐照仪 25 Gy  $\gamma$  射线照射 10 min。按保存时间分成 3、7、14、21、28、35、42 d 共 7 组,取血样血液 1.5 mL 经  $1\ 550\ \text{g}\times 5\ \text{min}$  离心,留取上层血浆于  $-80\ ^\circ\text{C}$  保存备用。

#### 1.1.2 创伤患者资料

收集 2018 年 1 月至 2023 年 4 月本院急救部 297 例创伤患者,纳入标准:(1)主要诊断为骨折、多发伤、高坠伤、挤压伤、摔伤;(2)行动受限,需要卧床治疗;(3)住院超过 3 d。排除标准:(1)入院前已卧床超过 3 d;(2)入院前使用雌激素治疗;(3)合并肿瘤;(4)合并炎症性肠病、系统性红斑狼疮等静脉血栓栓塞风险增加的疾病;(5)入院时已有 DVT;(6)拒绝签订知情同意书。其中未输血患者 148 例(未输血组),入院至确诊 DVT 之间有 SRBC 输血的患者 149 例(RBC 输血组),其中未辐照 SRBC 输血的患者 76 例(未辐照组),含有辐照 SRBC 输血的患者 73 例(辐照组),对患者年龄、性别、创伤类型、是否长骨骨折、是否脊髓损伤、入院时(血压、心率、体温、Hb)、住院时间、住院期间死亡率、SRBC 总输血量(入院至确诊 DVT 期间)、RBC 储存时间、DVT 发生率进行统计分析。DVT 诊断标准<sup>[14]</sup>:患肢出现胀痛、压痛、皮肤呈暗红色、浅表静脉怒张等症状,经血管超声或造影确诊存在 DVT(管腔内探及实性回声,充盈缺损,管腔不能完全压闭,非期相性血流,连续探测血管腔、管径)。本研究经医院伦理委员会批准[2020 年科伦审第(178)号]。

## 1.2 方法

### 1.2.1 流式细胞术检测 RMP

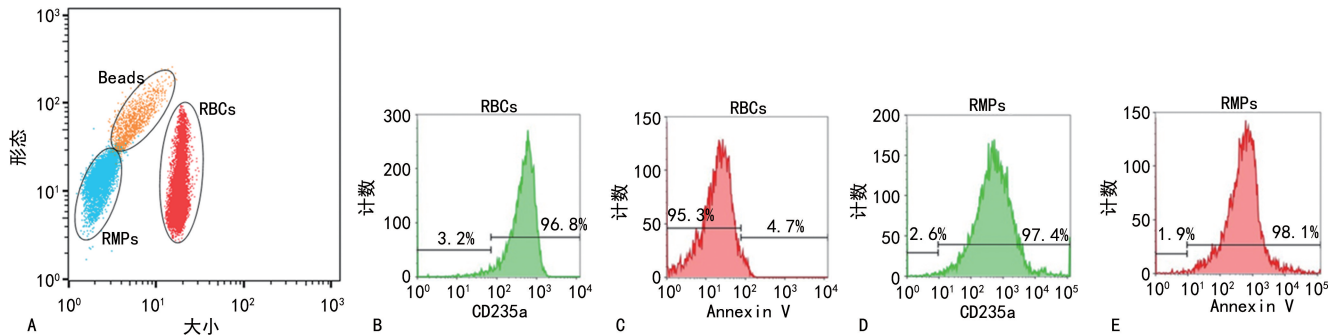
取 5 管 ABO、RhD 均同型且储存时间相同的冻存标本,经冰上缓慢解冻后取 1 mL 离心  $20\ 000\ \text{g}\times 90\ \text{min}$  沉淀 RMP,弃掉上层  $900\ \mu\text{L}$ ,留取底部包含红色沉淀液体  $100\ \mu\text{L}$ 。5 个标本混合后再加入 1 mL 磷酸盐缓冲液(phosphate buffer saline, PBS)混匀, $20\ 000\ \text{g}\times 90\ \text{min}$  洗涤 1 次,留取底部  $100\ \mu\text{L}$  制成 RMP 悬液。取 1 mL 健康体检者新鲜全血用 2 mL PBS  $1\ 000\ \text{g}\times 2\ \text{min}$  洗涤 2 次,重悬至总体积 1 mL。 $30\ \mu\text{L}$  标本中加入  $265\ \mu\text{L}$  PBS 和  $5\ \mu\text{L}$  荧光抗体,抗体异硫氰酸荧光素(fluoresce in isothiocyanate, FITC) anti-235a

(559943)、PE 膜联蛋白 V (Annexin V, 560930)、FITC 鼠 IgG2b(556655)和 Annexin V 结合缓冲液(556454)均购自美国 BD Biosciences 公司,1.0~1.4  $\mu\text{m}$  质控微球(Beads)(FH-1056-2)购自美国 Spherotech 公司,混匀后暗室孵育 15 min,1 h 内上机检测(CytoFLEX 流式分析仪,美国 Beckmancoulter 公司)。检测速度 10  $\mu\text{L}/\text{min}$ ,连续记数 1 min。取储存时间相同的 3 个富集标本的平均值作为最终结果。

### 1.2.2 血浆电解质测定

血辫血液 1.5 mL 经 1 550  $\text{g} \times 5 \text{ min}$  离心,留取上层血浆,用美国 Beckmancoulter AU5800 全自动生化分析仪检测  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  的浓度,取储存时间相同的 3 个不同标本的平均值作为最终结果。

### 1.3 统计学处理



A:根据大小和形态区分三个颗粒群的门;B、C:分别为 RBC 群细胞膜表面 CD235a、Annexin V 的表达水平;D、E:分别为 RMP 群膜表面 CD235a、Annexin V 的表达水平。

图 1 流式细胞术分离 RMP

## 2.2 辐照对 SRBC 血辫中 RMP 释放的影响

在所有相同储存时间点,辐照 SRBC 的 RMP 均明显高于未辐照 SRBC ( $P < 0.01$ ),见表 1。

表 1 不同储存时间 SRBC 血辫血液中 RMP 数量 ( $n=5, \bar{x} \pm s, \text{个}/\mu\text{L}$ )

储存时间	未辐照 SRBC	辐照 SRBC	<i>P</i>
3 d	1 839 $\pm$ 384	5 280 $\pm$ 402	<0.001
7 d	2 917 $\pm$ 365	6 734 $\pm$ 718	0.003
14 d	4 683 $\pm$ 561	13 167 $\pm$ 1 044	<0.001
21 d	6 439 $\pm$ 785	21 177 $\pm$ 1 869	<0.001
28 d	12 413 $\pm$ 1 358	33 226 $\pm$ 3 140	0.001
35 d	20 471 $\pm$ 1 964	43 393 $\pm$ 2 454	<0.001
42 d	32 310 $\pm$ 2 077	57 393 $\pm$ 3 966	0.001

## 2.3 辐照对 SRBC 血辫中其他电解质的影响

无论是否辐照,随储存时间延长,SRBC 血辫中的  $\text{Cl}^-$  含量没有明显的变化 ( $P > 0.05$ ), $\text{Na}^+$  含量随储存时间延长而降低,且辐照 SRBC 血辫中的  $\text{Na}^+$  含量略低于未辐照 SRBC (除 28 d 外)。SRBC 血辫中的

使用 GraphPad Prism 软件进行统计分析,计量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示,比较采用非配对 *t* 检验;计数资料用率表示,比较采用  $\chi^2$  检验,以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 RMP 的分离鉴定

采用流式细胞术通过颗粒的大小和形态区分 RBC 和 RMP 颗粒群。红细胞群比 Beads 直径大,且 96.8% 表达红细胞系标志物 CD235a,4.7% 表达膜损伤标志物 Annexin V。而 RMP 群比 Beads 直径小,且 97.4% 表达红细胞系标志物 CD235a,98.1% 表达膜损伤标志物 Annexin V (图 1)。无论是颗粒大小还是表面标志物表达特点均符合 RMP 的特征,说明通过流式细胞术分离的这群较小颗粒属于 RMP。

$\text{K}^+$  含量随储存时间延长而升高,第 28 天达峰后略有下降;与未辐照 SRBC 血辫相比,除了第 28 天和 35 天,每个检测点辐照 SRBC 血辫中的  $\text{K}^+$  含量更高 ( $P < 0.05$ ),见表 2。

### 2.4 辐照 SRBC 输注对创伤患者 DVT 形成的影响

RBC 输血组 (45/149, 30.2%) 比未输血组 (17/148, 11.5%) 的 DVT 发生率更高 ( $P < 0.001$ ),同时也有更高的长骨骨折率、入院心率、住院时间、住院死亡率。在 RBC 输血组患者中,未辐照组和辐照组的年龄、性别、损伤类型、入院时基本指标、住院时间、住院死亡率均没有明显差异 ( $P > 0.05$ ),辐照组的 DVT 发生率高于未辐照组 ( $P < 0.05$ )。辐照组中的平均储存天数低于未辐照组 ( $P < 0.001$ )。此外辐照组的 RBC 输血量明显高于未辐照组 ( $P < 0.001$ ),见表 3。

为了阐明 RBC 输血量、RBC 储存时间、辐照 SRBC 输血等与 DVT 发生的关系,进一步进行多因素逻辑回归分析,结果显示:辐照 SRBC 输血是 DVT 的风险因素 ( $OR = 2.16, P < 0.05$ ),而且 DVT 发生率随着所输注辐照 SRBC 的含量增加而升高,含量超过 50% 时有显著差异 ( $P < 0.05$ ),见图 2。

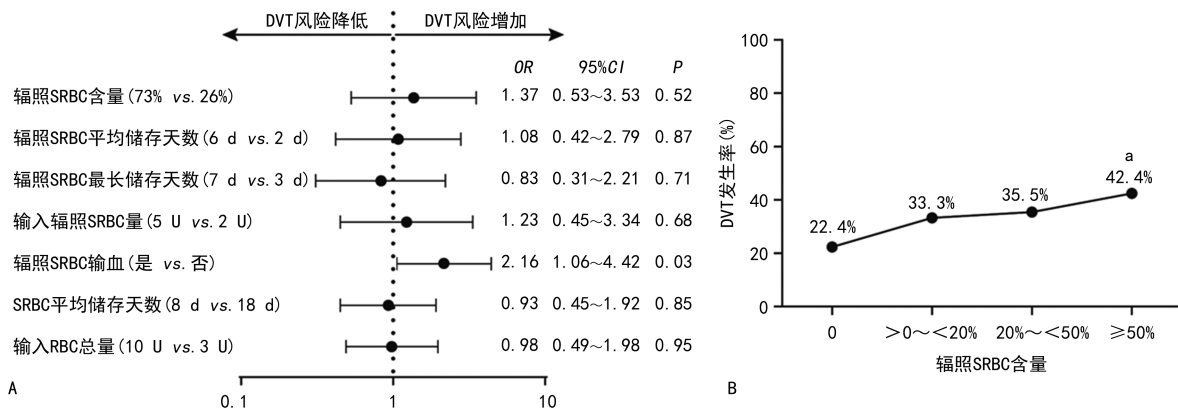
表 2 辐照前后 SRBC 血瓣血液中部分电解质随储存时间的变化 ( $n=5, \bar{x} \pm s, \text{mmol/L}$ )

储存时间	$\text{K}^+$			$\text{Na}^+$			$\text{Cl}^-$		
	未辐照	辐照	<i>P</i>	未辐照	辐照	<i>P</i>	未辐照	辐照	<i>P</i>
3 d	5.8±0.3	14.1±1.4	0.001	150.5±1.5	144.4±1.3	0.013	61.6±0.9	64.4±1.3	0.067
7 d	7.5±0.8	21.2±1.3	<0.001	147.6±0.7	137.5±1.3	<0.001	62.2±1.0	64.3±2.8	0.374
14d	10.8±0.4	22.1±2.3	0.003	146.0±0.5	133.9±7.5	0.085	63.8±0.8	68.7±3.3	0.114
21 d	15.7±0.9	24.7±1.8	0.003	142.8±0.6	131.7±4.6	0.025	66.3±2.5	68.7±1.0	0.280
28 d	24.3±6.1	24.9±1.6	0.897	133.4±5.7	134.0±3.8	0.907	65.0±0.5	65.1±1.8	0.907
35 d	22.0±1.1	22.9±1.1	0.445	135.2±0.7	133.1±0.1	0.014	63.5±3.3	67.3±0.4	0.172
42 d	19.8±1.9	31.3±1.1	0.024	138.0±0.7	128.2±2.7	0.013	65.4±2.5	64.1±2.1	0.618

表 3 不同输血组的病例特点及 DVT 发生率

项目	未输血组 ( $n=148$ )	RBC 输血组 ( $n=149$ )	
		未辐照组 ( $n=76$ )	辐照组 ( $n=73$ )
年龄( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	54.1±17.6	52.3±17.8	52.1±18.8
男性 [ $n(\%)$ ]	104(70.3)	49(64.5)	46(63.0)
钝器伤 [ $n(\%)$ ]	145(98.0)	74(97.4)	72(98.6)
长骨折 [ $n(\%)$ ]	53(35.8)	39(51.3)	41(56.2)
脊髓损伤 [ $n(\%)$ ]	7(4.8)	6(7.9)	3(4.1)
入院收缩压( $\bar{x} \pm s$ , mmHg)	129.6±20.5	122.1±21.3	115.1±22.1
入院舒张压( $\bar{x} \pm s$ , mmHg)	77.1±12.2	72.1±12.3	67.4±16.3
入院心率( $\bar{x} \pm s$ , 次/min)	83.2±15.6	90.1±18.6	96.2±20.3
入院体温( $\bar{x} \pm s$ , °C)	36.7±0.5	36.7±0.5	36.6±0.6
入院 Hb( $\bar{x} \pm s$ , g/L)	123.0±19.4	101.7±23.5	98.6±24.4
住院时间( $\bar{x} \pm s$ , d)	18.3±17.8	29.7±27.8	34.3±28.1
住院期间死亡率 [ $n(\%)$ ]	1(0.7)	4(5.3)	4(5.5)
RBC 输血量( $\bar{x} \pm s$ , U)		4.9±3.6	9.0±6.4 <sup>b</sup>
RBC 最长储存天数( $\bar{x} \pm s$ , d)		19.3±7.4	17.9±8.7
RBC 平均储存天数( $\bar{x} \pm s$ , d)		16.8±6.4	11.0±5.1 <sup>b</sup>
DVT 发生率 [ $n(\%)$ ]	17(11.5)	17(22.4)	28(38.4) <sup>a</sup>

<sup>a</sup>:  $P < 0.05$ , 与未辐照组比较; <sup>b</sup>:  $P < 0.001$ , 与未辐照组比较。



A: 对 RBC 输血组 DVT 发生率进行多因素逻辑回归分析; B: 总输入 RBC 含量辐照 SRBC 与 DVT 发生率的关系; <sup>a</sup>:  $P < 0.05$ , 与辐照 SRBC 含量为 0 比较。

图 2 DVT 发生风险的多因素逻辑回归分析

### 3 讨 论

1933 年 AUER 首次报道 RBC 产生丝状物的现

象,20 世纪 70 年代人们分离了 RBC 产生的微粒,并描述了其特点,至此拉开了 RMP 研究的帷幕<sup>[15]</sup>。研

究表明,健康人外周血 RMP 约为  $8.5 \times 10^8$  个/L,其生成速度约为 RBC 生成速度的 8 120 倍。储存过程中 RMP 随储存时间逐渐增多,保存 20 d 以后,RMP 产生速度会逐渐加快<sup>[5]</sup>。由于  $\gamma$  射线在灭活淋巴细胞的同时也加速红细胞  $K^+$  渗漏<sup>[16]</sup>,而  $K^+$  升高是 RMP 产生的原因之一,因此推测辐照可能通过  $K^+$  变化引起 RMP 释放加快。本研究检测了辐照前后 SRBC 中的 RMP 含量,发现辐照 SRBC 比相同储存时间未辐照 SRBC 中的 RMP 含量更高,且 SRBC 中的 RMP 随储存时间延长而增加。进一步检测辐照 SRBC 中的电解质,辐照后  $K^+$  在短时间内迅速升高,与其他研究报道相似<sup>[16]</sup>。推测  $K^+$  可能是促进 RMP 释放的重要原因之一。

研究发现,RMP 会以组织因子依赖的方式增强体内凝血过程,也可促进蛋白 C 系统的抗凝反应,具有广泛的止血活性,在自发性高血压大鼠中注射 RMP 可以控制其颅内出血的程度<sup>[17]</sup>。RMP 也可以作为止血剂抑制患者和大鼠颅内血肿的形成<sup>[18-19]</sup>。此外,RMP 可以调节免疫和抑制一氧化氮引起的血管舒张功能<sup>[20-21]</sup>。由于 SRBC 保存过程中 RMP 的增加及 RMP 的促凝血活性,一些研究认为 RMP 与输血后某些不良反应有关。RMP 既可以通过结合大量补体和免疫球蛋白活化白细胞,进而可能诱发输血相关性急性肺损伤,也可以与大多数 CD40L 相结合,进而活化 PMC 氧化酶,引起肺内皮细胞损伤<sup>[22]</sup>。此外,有研究发现,创伤患者输注储存时间更长的 RBC, DVT 发生率更高,说明 RBC 储存损伤确实与 DVT 的发生有关,而 RMP 可能在 DVT 形成过程中发挥了一定作用<sup>[23]</sup>。进一步研究发现,RMP 可以通过 P-选择素促进微血栓的形成<sup>[24]</sup>。也有研究报道,向小鼠直接输入 RMP 提取物可以引起血液高凝状态<sup>[25]</sup>,但 RMP 与 DVT 直接的相关性尚未见报道。本研究在辐照 SRBC 中检测到 RMP 升高,辐照 SRBC 输血者 DVT 发生率较高,但 RMP 与 DVT 的关系尚需体内和体外实验去验证,RMP 在创伤患者 DVT 形成中的作用和机制也需进一步研究。受限于更早时间的数据缺失及创伤患者使用辐照 SRBC 次数不多,统计的病例有限,因此下一步将纳入更多的数据进行分析。

综上所述,随着储存时间延长,辐照 SRBC 中 RMP 和  $K^+$  含量会逐渐升高, $K^+$  可能是促进 RMP 释放的因素之一。此外辐照 SRBC 输血是创伤患者发生 DVT 的风险因素之一,应严格把控辐照 SRBC 的输血适应证。

## 参考文献

[1] 李红燕,贺理,王勇军. 献血者因素与红细胞储存

损伤相关性的研究进展[J]. 中国输血杂志, 2021,34(9):1046-1049.

- [2] 陈雄燕,肖倩,欧阳清,等. 芦丁对体外储存悬浮红细胞凋亡和 ATP 的影响及机制研究[J]. 重庆医学,2020,49(2):192-196.
- [3] 强书毓,董晏榕,张玉龙,等. 储存红细胞体内外质量指标相关性分析研究[J]. 临床输血与检验, 2022,24(2):182-188.
- [4] NOULSRI E. Quantitation of cell-derived microparticles in blood products and its potential applications in transfusion laboratories [J]. Lab Med, 2020,51(5):452-459.
- [5] SAID A S, DOCTOR A. Influence of red blood cell-derived microparticles upon vasoregulation [J]. Blood Transfus, 2017,15(6):522-534.
- [6] NGUYEN D B, TRAN H T, KAESTNER L, et al. The relation between extracellular vesicles released from red blood cells, their cargo, and the clearance by macrophages [J]. Front Physiol, 2022, 13: 783260.
- [7] GEORGATZAKOU H T, FORTIS S P, PAPAGEORGIOU E G, et al. Blood cell-derived microvesicles in hematological diseases and beyond[J]. Biomolecules, 2022,12(6):803.
- [8] NOULSRI E, LERDWANA S, PALASUWAN D, et al. Cell-derived microparticles in blood products from blood donors deficient in glucose-6-phosphate dehydrogenase [J]. Lab Med, 2021, 52(6):528-535.
- [9] 刘奇,王世春,姚春艳. 伽马射线辐照对血小板贮存损伤的影响[J]. 临床输血与检验, 2021, 23(4):535-540.
- [10] MELI A, LINGER R, STEVENS-HERNANDEZ C J, et al. The compound effect of irradiation and familial pseudohyperkalemia on potassium leak from red blood cells[J]. Transfusion, 2022,62(12):2587-2595.
- [11] SOWEMIMO-COKER S O, FAST L D. Effects of hypoxic storage on the efficacy of gamma irradiation in abrogating lymphocyte proliferation and on the quality of gamma-irradiated red blood cells in additive solution 3 [J]. Transfusion, 2021,61(12):3443-3454.
- [12] DELVASTO-NÚÑEZ L, ROEM D, BAKHTIARI K, et al. Iron-driven alterations on red blood cell-derived microvesicles amplify coagulation during

- hemolysis via the intrinsic tenase complex [J]. *Thromb Haemost*, 2022, 122(1):80-91.
- [13] BRILL A. Multiple facets of venous thrombosis [J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(8):3853.
- [14] KHAN F, TRITSCHLER T, KAHN S R, et al. Venous thromboembolism [J]. *Lancet*, 2021, 398(10294):64-77.
- [15] WESTERMAN M, PORTER J B. Red blood cell-derived microparticles: an overview [J]. *Blood Cells Mol Dis*, 2016, 59:134-139.
- [16] MARKS D C, WEBB R G, LINNANE C, et al. X- and gamma-irradiation have similar effects on the in vitro quality of stored red cell components [J]. *Transfusion*, 2021, 61(11):3214-3223.
- [17] REHNI A K, CHO S, QUERO H N, et al. Red blood cell microparticles limit hemorrhage following intracerebral hemorrhage in spontaneously hypertensive rats [J]. *Stroke*, 2023, 54(4):e152-154.
- [18] REHNI A K, CHO S, QUERO H N, et al. Red blood cell microparticles limit hematoma growth in intracerebral hemorrhage [J]. *Stroke*, 2022, 53(10):3182-3191.
- [19] REHNI A K, CHO S, ZHANG Z, et al. Red cell microparticles suppress hematoma growth following intracerebral hemorrhage in chronic nicotine-exposed rats [J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(23):15167.
- [20] PINHEIRO M K, TAMAGNE M, ELAYEB R, et al. Blood microparticles are a component of immune modulation in red blood cell transfusion [J]. *Eur J Immunol*, 2020, 50(8):1237-1240.
- [21] 翟媛媛, 陈媛, 毕亚艳. 微粒与血栓 [J]. *心血管康复医学杂志*, 2021, 30(6):734-737.
- [22] NOULSRI E. Effects of cell-derived microparticles on immune cells and potential implications in clinical medicine [J]. *Lab Med*, 2021, 52(2):122-135.
- [23] SHE Y, LIU Q, XIONG X, et al. Erythrocyte storage lesion improvements mediated by naringin screened from vegetable/fruit juice using cell extract and HPLC-MS [J]. *J Anal Methods Chem*, 2022, 2022:7556219.
- [24] KIM Y, GOODMAN M D, JUNG A D, et al. Microparticles from aged packed red blood cell units stimulate pulmonary microthrombus formation via P-selectin [J]. *Thromb Res*, 2020, 185:160-166.
- [25] KIM Y, XIA B T, JUNG A D, et al. Microparticles from stored red blood cells promote a hypercoagulable state in a murine model of transfusion [J]. *Surgery*, 2018, 163(2):423-429.

(收稿日期:2023-09-20 修回日期:2023-12-27)

(编辑:成卓)

(上接第 843 页)

- [20] 徐婧, 刘延, 丁晓毅, 等. 胎盘植入的高危因素及球囊预置阻断技术在预防胎盘植入产后出血中的临床价值 [J]. *现代妇产科进展*, 2020, 29(1):22-25.
- [21] 张婧, 张春玉, 范琦慧, 等. 不同类型前置胎盘 448 例临床分析 [J]. *中国妇产科临床杂志*, 2016, 17(5):450-452.
- [22] DENG L, CHANG Q, WANG Y, et al. Tourniquet device for hemorrhage control during cesarean section of complete placenta previa pregnancies [J]. *J Obstet Gynaecol Res*, 2014, 40(2):399-404.
- [23] 李素霞, 牡丹丽, 王立群, 等. 胎盘附着部位与凶险性前置胎盘产后出血的相关性及其危险因素分析 [J]. *疑难病杂志*, 2019, 18(4):388-391.
- [24] STEWART M J, RICHMOND D, MOONEY S, et al. Diagnostic utility of MRI features of placental adhesion disorder for abnormal placentation and massive postpartum hemorrhage [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2021, 217(2):378-388.
- [25] LV J, LIU Y Y, JIA Y T, et al. A nomogram model for predicting prognosis of obstructive colorectal cancer [J]. *World J Surg Oncol*, 2021, 19(1):337.
- [26] YUE C Y, GAO J P, ZHANG C Y, et al. Development and validation of a nomogram for the early prediction of preeclampsia in pregnant Chinese women [J]. *Hypertens Res*, 2021, 44(4):417-425.

(收稿日期:2023-09-18 修回日期:2023-12-29)

(编辑:冯甜)