· 论著 ·

异基因造血干细胞移植患者输血及造血重建影响因素分析

王蓉[1]　刘青[2]　孟子凡[1]　张少强[1]
(青岛大学附属医院 1. 输血科;2. 检验科,山东 青岛 206000)

摘要:目的　回顾性分析异基因造血干细胞移植(allo-HSCT)患者治疗期间血液成分输注特征和造血重建时间差异,识别影响血液输注和造血重建的因素,为优化干细胞采集策略及制定个性化输血治疗方案提供依据。**方法**　选择 2023 年 1 月—2025 年 12 月于本院接受 allo-HSCT 治疗的 95 例患者,分析不同疾病分类、HLA 配型状态、ABO 血型相合情况以及移植物中细胞成分数量等资料,比较不同组间红细胞和血小板输注量及造血重建时间的差异,评价影响血液输注和造血重建时间的影响因素。**结果**　不同疾病分类对红细胞和血小板的输注量无影响;HLA 半相合与全相合状态、ABO 血型相合性和移植物中血小板数量对血液成分输注量及造血重建时间的差异不具有统计学意义;移植物中 MNC 数量(6~10)×10^6/kg 组仅粒系重建时间(d)与(2~4)×10^6/kg 组差异具有统计学意义[12.00(11.00,13.00) *vs.* 18.00(17.00,30.00),P<0.05];移植物中 CD34$^+$细胞数量(6~10)×10^6/kg 组血小板输注量、粒系重建时间和血小板重建时间分别为 3.00(3.00,4.00)治疗量、11.00(10.25,13.75)d、12.00(11.00,14.00)d,(>10)×10^6/kg 组血小板输注量、粒系重建时间和血小板重建中位时间分别为 3.00(2.00,3.25)治疗量、11.50(10.00,12.00)d、12.00(11.00,13.00)d,分别与(2~4)×10^6/kg 组血小板输注量[6.00(3.00,8.00)治疗量]、粒系重建时间[13.00(12.00,15.00)d]、血小板重建时间[15.00(15.50,22.50)d]差异均具有统计学意义(P<0.05),CD34$^+$<4×10^6/kg 组粒系和血小板重建延迟且输注血小板需求显著增加。**结论**　移植物中 CD34$^+$细胞数量是 allo-HSCT 后造血重建延迟的显著相关因素,且对血小板输注量有显著影响。血液输注是接受 allo-HSCT 的患者支持治疗的必要措施,优化干细胞采集程序以确保移植物中 CD34$^+$细胞目标数量,并依据移植物 CD34$^+$计数预先制定个性化输血策略,将有助于促进造血重建、降低输血负担,改善患者移植预后。

关键词:异基因造血干细胞移植;输血;造血重建;CD34$^+$细胞
中图分类号:R617　R457.1　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1004-549X(2026)9-1246-08
DOI:10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2026.09.012

Analysis of factors influencing blood transfusion and hematopoietic reconstitution in patients undergoing allogeneic hematopoietic stem cell transplantation

WANG Rong[1], *LIU Qing*[2], *MENG Zifan*[1], *ZHANG Shaoqiang*[1].
1. *Department of Blood Transfusion*; 2. *Department of Clinical Laboratory*, *The Affiliated Hospital of Qingdao University*, *Qingdao* 266000, *China*.
Corresponding author: *ZHANG Shaoqiang*, *Email*: *sxkzsq*@126.*com*

Abstract: Objective　To show the characteristics of blood component transfusion and differences in hematopoietic reconstitution time among patients undergoing allogeneic hematopoietic stem cell transplantation (allo-HSCT) retrospectively, with the aim of identifying factors affecting blood transfusion and hematopoietic reconstitution, and providing evidence for optimizing stem cell collection strategies and developing individualized transfusion regimens. **Methods**　A total of 95 patients who received allo-HSCT treatment in our hospital from January 2023 to December 2025 were enrolled. Data including disease classification, HLA matching status, ABO blood group compatibility, and cellular composition of grafts were analyzed, and differences in red blood cell and platelet transfusion requirements, as well as the hematopoietic reconstitution time, were compared among groups. Factors affecting transfusion requirements and hematopoietic reconstitution time were evaluated. **Results**　Different disease classifications showed no significant effect on red blood cell or platelet transfusion requirements. No statistically significant differences were observed in blood component transfusion volumes or hematopoietic

第一作者简介:王蓉(1989-),女,副主任技师,Email:wangrong@qdu.edu.cn; **通信作者:**张少强,Email:sxkzsq@126.com

reconstitution time between HLA semi-matched and fully matched status, ABO blood group compatibility, and graft platelet count. A statistically significant difference was observed only in granulocyte engraftment time between the graft MNC count group of $(6-10)\times10^6$/kg and the $(2-4)\times10^6$/kg group[12.00 (11.00, 13.00) *vs* 18.00 (17.00, 30.00) days, $P<0.05$]. Regarding graft $CD34^+$ cell count, the $(6-10)\times10^6$/kg group had a platelet transfusion volume of 3.00 (3.00, 4.00) therapeutic units, with granulocyte and platelet engraftment time of 11.00 (10.25, 13.75) days and 12.00 (11.00, 14.00) days, respectively; the $(>10)\times10^6$/kg group had corresponding values of 3.00 (2.00, 3.25) therapeutic units, 11.50 (10.00, 12.00) days, and 12.00 (11.00, 13.00) days. Compared with the $(2-4)\times10^6$/kg group [6.00 (3.00, 8.00) therapeutic units, 13.00 (12.00, 15.00) days, 15.00 (15.50, 22.50) days], all these differences were statistically significant ($P<0.05$). Patients in the $CD34^+<4\times10^6$/kg group demonstrated delayed granulocyte and platelet engraftment and significantly increased platelet transfusion requirements. **Conclusion** The $CD34^+$ cell dose in the graft is a significant correlate of hematopoietic reconstitution time after allo-HSCT and is significantly associated with platelet transfusion requirements. Blood transfusion is a necessary measure for supportive treatment of allo-HSCT patients. Optimizing stem cell harvesting protocols to achieve the target $CD34^+$ cell dose, along with developing individualized transfusion strategies based on graft $CD34^+$ counts, may facilitate hematopoietic recovery, reduce transfusion burden, and ultimately improve patient outcomes after transplantation.

Key words: allogeneic hematopoietic stem cell transplantation; blood transfusion; hematopoietic reconstitution; $CD34^+$ cells

异基因造血干细胞移植(allogeneic hematopoietic stem cell transplantation,allo-HSCT)作为治疗各种恶性血液病、重型再生障碍性贫血以及某些遗传性免疫缺陷难治性血液病的重要手段,已在临床上广泛应用[1]。Allo-HSCT 是通过大剂量放/化疗及免疫抑制剂清除患者病变的造血与免疫系统,输注健康的供者造血干细胞,以重建正常的造血与免疫功能[2]。在移植后 2~4 周是供体干细胞“归巢”和新生骨髓重建的关键期,此时患者自身的造血功能抑制,易出现全血细胞减少状态,导致贫血、感染和出血风险增加[3]。及时、有效的血液成分支持治疗可以帮助患者度过造血功能恢复前阶段,提高移植成功率。

异体输血(allogeneic blood transfusion)不但可能带来输血相关反应、免疫反应、铁过载以及传播感染性疾病等风险[4-5],而且对于接受 allo-HSCT 患者可能因输入残存的供者白细胞而影响免疫重建,甚至引起移植物抗宿主病(graft-versus-host disease,GVHD)的发生[6],因此为合理预测与管理 allo-HSCT 的输血需求,我们回顾性分析了本院 2023 年 1 月—2025 年 12 月 95 例接受异基因造血干细胞移植治疗的患者的临床资料及输血情况,通过分析移植相关因素(如 HLA 配型状态、ABO 血型相合情况以及移植物细胞数量等)与输血和造血重建的相关性,探讨影响 allo-HSCT 治疗期间各血液成分输注需求和造血重建时间的影响因素,早期识别输血高危患者、制定个性化输血治疗支持方案,从而达到降低移植相关风险、提高 allo-HSCT 整体治疗效果的目的。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为回顾性队列研究。依托本院医疗科研大数据平台和智慧输血管理系统,连续纳入 2023 年 1 月—2025 年 12 月期间接受 allo-HSCT 治疗的 95 例患者作为研究对象,采集相关临床资料,包括性别、年龄、原发病类型、移植前疾病确诊时间、转归、HLA 配型状态、ABO 血型相合情况、移植物中单个核细胞、$CD34^+$ 细胞以及血小板数量、造血重建时间、实验室检测指标及输血情况。

1.2 供受者情况

根据供受者 HLA 等位基因匹配情况,分为 HLA 半相合及 HLA 全相合。根据供受者 ABO 血型关系,分为 ABO 血型相合、主要不合(供者红细胞的 ABO 血型抗原在受者红细胞上不表达)、次要不合(受者红细胞的 ABO 血型抗原在供者红细胞上不表达)、主次均不合(同时存在主要、次要 ABO 血型抗原不合)。

1.3 供者动员及外周血干细胞采集方案

所有供者均采用 G-CSF 进行干细胞动员,方案为 5~10 $\mu g \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}$,每日 2 次皮下注射。于动员 d5 使用 COBE Optia 血细胞分离机(美国 Terumo BCT)进行外周血干细胞采集,抗凝剂为复方枸橼酸钠抗凝液,处理血量为供者 2~3 倍血容量,流速控制在 30~60 mL/min,为预防枸橼酸盐中毒,采集

期间静滴 10% 葡萄糖酸钙溶液。首次采集细胞数量未达标者于 d6 进行第 2 次采集。

1.4　移植后造血重建标准

粒系植入时间：外周血中性粒细胞绝对值计数连续 3 d≥0.5×10^9/L 的 d1；血小板植入时间：连续 7 d 不输注血小板的情况下，血小板计数稳定大于 20×10^9/L 的 d1。

1.5　统计学分析

采用 SPSS 31.0 统计软件进行数据处理，采用 Shapiro-Wilk 检验对连续变量进行正态性检验，符合正态分布者以均值±标准差表示，不符合正态分布的数据采用四分位间距法 M(Q25, Q75)表示，并采用非参数检验（Kruskal-Wallis H 检验）；若 Kruskal-Wallis H 检验结果具有统计学意义，则进一步进行事后两两比较，并采用 Bonferroni 法校正 P 值(P')。配对样本的比较采用 Wilcoxon 符号秩检验。分类变量以例数(百分比)表示。所有检验 P<0.05 为差异具统计学意义。

2　结果

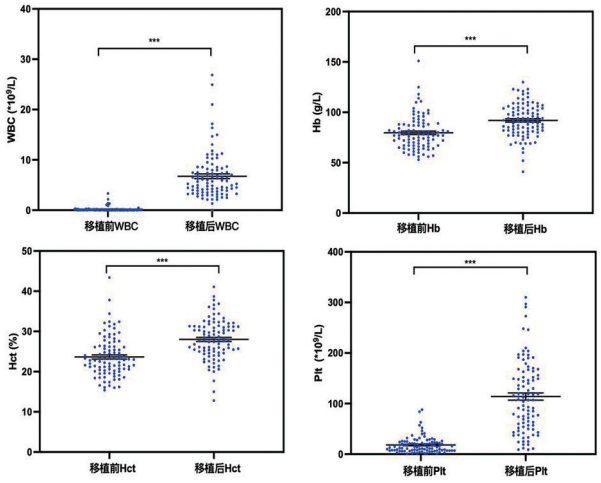
2.1　患者基本信息

本研究纳入 95 例接受 allo-HSCT 治疗的患者中，男性 47 例(49.47%)，女性 48 例(50.53%)，患者中位年龄 31.00(16.00, 42.00)岁(表 1)。患者中位住院时间 46.50(39.75, 66.00) d，疾病确诊至移植中位时间 7.00(5.00, 9.00)个月。不同患者出院时白细胞(WBC)、血红蛋白(Hb)、红细胞压积(Hct)和血小板(Plt)检验指标与移植前相比差异具统计学意义(P<0.001，图 1)。

表 1　患者基本信息(n=95)

Table 1　Patient demographics (n=95)

类别		n(%)
年龄(岁)		
	<18	26(27.37)
	18~59	69(72.63)
性别		
	男	47(49.47)
	女	48(50.53)
BMI		
	<18.5	21(22.11)
	18.5~23.9	39(41.05)
	24.0~27.9	23(24.21)
	≥28	12(12.63)
疾病分类		
	再生障碍性贫血(AA)	17(17.89)
	急性髓系白血病(AML)	49(51.58)
	急性淋巴细胞白血病(ALL)	20(21.05)
	骨髓增生异常综合征(MDS)	9(9.47)



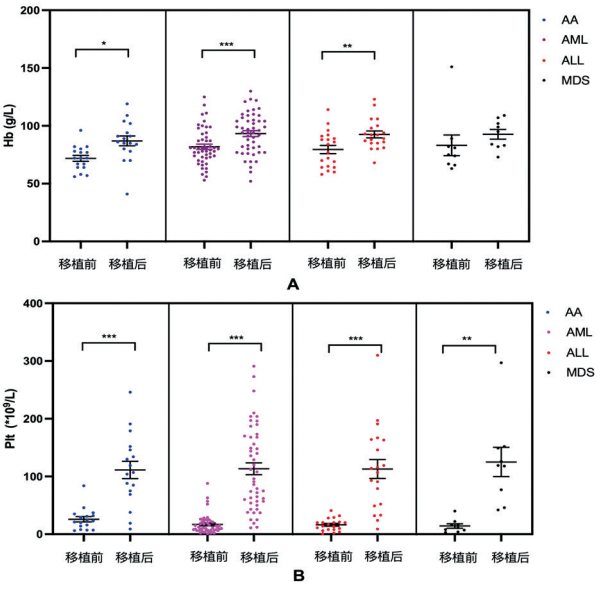
注：* * * P<0.001。

图 1　患者移植前后 WBC、Hb、Hct、Plt 指标变化情况

Figure 1　Changes in WBC, Hb, Hct, and Plt levels in patients before and after transplantation

2.2　不同疾病分类血液输注情况分析

接受 allo-HSCT 治疗期间，AA 组、AML 组和 ALL 组组内移植前后 Hb 指标差异具有统计学意义(P<0.05)，而 MDS 组移植前和移植后 Hb 指标无显著差异(图 2A)；不同疾病分类(AA、AML、ALL 和 MDS)组内移植前后 Plt 指标差异具有统计学意义(P<0.01，图 2B)。各组患者移植前和移植后 Hb 及 Plt 水平组间差异不具统计学意义(P>0.05)，红细胞和血小板输注量差异不具统计学意义(P>0.05)，见表 2。



注：* P<0.05，* * P<0.01，* * * P<0.001。

图 2　不同疾病分组患者移植前后 Hb、Plt 指标变化情况

Figure 2　Changes in Hb and Plt levels before and after transplantation in patients with different disease classifications

表 2 不同疾病分类患者移植前后 Hb 和 Plt 指标及移植期间血液输注量情况

Table 2 Hb and Plt indicators before and after transplantation and blood transfusion volume during transplantation in patients with different disease classifications

	AA	AML	ALL	MDS	*P* 值
移植前指标					
Hb(g/L)	72.00(64.00,79.00)	80.00(72.50,91.50)	80.50(64.25,90.50)	75.00(66.50,85.50)	0.145
Plt($\times10^9$/L)	23.00(11.00,33.50)	11.00(6.50,22.50)	15.50(8.00,20.75)	11.00(5.50,19.50)	0.101
移植后指标					
Hb(g/L)	86.00(79.00,98.00)	94.00(78.50,106.00)	90.50(85.00,99.50)	95.00(82.50,104.50)	0.679
Plt($\times10^9$/L)	107.00(72.00,149.00)	96.00(55.50,169.00)	110.50(49.75,163.75)	119.00(61.50,150.50)	0.981
移植期间输血量					
红细胞(U)	4.00(2.00,7.00)	4.00(0.00,6.00)	3.00(0.00,7.00)	4.00(2.00,6.00)	0.485
血小板(治疗量)	3.00(2.00,5.00)	4.00(3.00,6.00)	3.00(2.25,7.25)	3.00(3.00,5.00)	0.825

2.3 不同 HLA 配型状态患者移植期间输血及造血重建情况

接受 HLA 半相合的造血干细胞移植患者和接受 HLA 全相合的造血干细胞移植患者红细胞和血小板的输注量以及粒系与血小板重建时间差异不具统计学意义(P>0.05)。见表 3。

表 3 不同 HLA 配型状态患者输血及造血重建情况

Table 3 Blood transfusion and hematopoietic reconstitution in patients with different HLA typing statuses

	HLA 半相合(n=62)	HLA 全相合(n=33)	*P* 值
移植期间输血量			
红细胞(U)	4.00(0.00,7.63)	4.00(2.00,6.00)	0.953
血小板(治疗量)	4.00(3.00,6.00)	3.00(3.00,5.00)	0.120
造血重建时间(d)			
粒系重建时间	12.00(11.00,14.00)	12.00(11.00,14.00)	0.692
血小板重建时间	12.50(11.00,18.00)	13.00(12.00,15.00)	0.837

2.4 不同 ABO 血型相合情况患者移植前后输血及造血重建情况

allo-HSCT 治疗期间,ABO 血型相合组、ABO 血型主要不合组、ABO 血型次要不合组和 ABO 血型主次均不合组红细胞和血小板输注量及粒系、血小板重建时间差异不具统计学意义(P>0.05)。见表 4。

表 4 不同 ABO 血型相合状态患者输血及造血重建情况

Table 4 Blood transfusion and hematopoietic reconstitution in patients with different ABO blood type matching status

	相合(n=50)	主要不合(n=25)	次要不合(n=15)	主次均不合(n=5)	*P* 值
移植期间输血量					
红细胞(U)	3.75(1.13,6.00)	4.00(2.50,10.00)	2.00(0.00,4.00)	4.00(1.50,5.25)	0.055
血小板(治疗量)	3.00(3.00,5.25)	4.00(3.00,9.00)	3.00(2.00,4.00)	2.00(2.00,3.00)	0.052
造血重建时间(d)					
粒系重建时间	12.00(11.00,14.00)	12.00(10.25,14.00)	12.00(11.00,13.00)	10.00(9.50,12.00)	0.063
血小板重建时间	13.00(12.00,17.50)	12.00(10.25,14.00)	12.00(11.75,12.50)	12.00(11.00,13.00)	0.309

2.5 移植物中不同 CD34$^+$细胞数患者的输血及造血重建情况

移植物中 CD34$^+$细胞数与患者血小板输注量、粒系重建时间和血小板重建时间相关(P<0.001)。移植物 CD34$^+$细胞数量为(2~4)$\times10^6$/kg 组与(6~10)$\times10^6$/kg 组、>10$\times10^6$/kg 组对血小板输注量、粒系重建时间和血小板重建时间差异具有统计学意义(P'<0.05);各组间红细胞输注量差异不具统计学意义(P>0.05),见表 5。

表 5 移植物中不同 CD34$^+$细胞数患者输血及造血重建情况

Table 5 Blood transfusion and hematopoietic reconstitution in patients with different numbers of CD34$^+$cells in transplants

	2~4($\times10^6$/kg)(n=25)	4~6($\times10^6$/kg)(n=24)	6~10($\times10^6$/kg)(n=32)	>10($\times10^6$/kg)(n=14)	*P* 值#
移植期间输血量					
红细胞(U)	6.00(3.00,8.00)	2.50(0.00,4.00)	4.00(2.00,6.00)	3.00(1.75,4.00)	0.06
血小板(治疗量)	6.00(3.00,8.00)	3.50(3.00,4.00)	3.00(3.00,4.00)[a]	3.00(2.00,3.25)[b]	0.002**
造血重建时间(d)					
粒系重建时间	13.00(12.00,15.00)	13.00(11.00,14.00)	11.00(10.25,13.75)[a]	11.50(10.00,12.00)[b]	0.002**
血小板重建时间	15.00(15.50,22.50)	13.00(12.00,18.00)	12.00(11.00,14.00)[a]	12.00(11.00,13.00)[b]	0.001**

#:*P* 值代表组间整体比较的结果;a 代表组间两两比较后,移植物 CD34$^+$细胞数量(6~10)$\times10^6$/kg 组与(2~4)$\times10^6$/kg 组血小板输注量、粒系重建时间和血小板重建时间差异具统计学意义,P'<0.05;b 代表组间两两比较后,移植物 CD34$^+$细胞数量(>10)$\times10^6$/kg 组与(2~4)$\times10^6$/kg 组血小板输注量、粒系重建时间和血小板重建时间差异具有统计学意义,P'<0.05;其余组间两两比较差异无统计学意义。

2.6 移植物中不同 MNC 细胞数患者的输血及造血重建情况 移植物中单个核细胞(MNC)数量与患者粒系重建时间相关(P<0.05),移植物 MNC 数量为(6~10)$\times10^6$/kg 组与(2~4)$\times10^6$/kg 组粒细胞重建时间差异具有统计学意义(P'<0.05);红细胞和血小板输注量及血小板重建时间在不同 MNC 数

量分组间差异不具统计学意义(P>0.05),见表 6。

2.7　移植物中不同血小板数量患者输血及造血重建情况　移植物中不同血小板计数对患者移植期间红细胞和血小板输注量及造血重建时间的差异不具统计学意义(P>0.05),见表 7。

表 6　移植物中不同 MNC 细胞数患者输血及造血重建情况

Table 6　Blood transfusion and hematopoietic reconstitution in patients with different numbers of MNC cells in transplants

	2~4(×10⁶/kg)(n=3)	4~6(×10⁶/kg)(n=29)	6~10(×10⁶/kg)(n=54)	>10(×10⁶/kg)(n=9)	P 值#
移植期间输血量					
红细胞(U)	10.00(0.00,10.00)	4.00(2.00,6.755)	4.00(1.38,6.00)	4.00(1.00,5.00)	0.702
血小板(治疗量)	6.00(5.00,9.00)	3.00(3.00,5.00)	3.00(3.00,5.25)	3.00(2.00,5.75)	0.233
造血重建时间(d)					
粒系重建时间	18.00(17.00,30.00)	12.00(11.00,13.50)	12.00(11.00,13.00)c	13.00(11.00,15.00)	0.030*
血小板重建时间	20.00(20.00,24.00)	13.00(11.50,19.50)	12.00(11.75,14.00)	14.00(11.50,20.50)	0.051

#:P 值代表组间整体比较的结果;c 代表组间两两比较后,移植物 MNC 数量(6~10)×10⁶/kg 组与(2~4)×10⁶/kg 组粒系重建时间差异有显著性,P<0.05;其他组间两两比较差异无统计学意义。

表 7　移植物中不同血小板数量患者输血及造血重建情况

Table 7　Blood transfusion and hematopoietic reconstitution in patients with different platelet counts in transplants

	<1(×10¹¹)(n=9)	1~2(×10¹¹)(n=32)	2~3(×10¹¹)(n=28)	3~4(×10¹¹)(n=18)	>4(×10¹¹)(n=8)	P 值
移植期间输血量						
红细胞(U)	6.00(1.50,11.00)	4.00(2.00,6.38)	3.50(0.00,7.50)	2.75(1.75,4.50)	3.50(2.13,6.00)	0.608
血小板(治疗量)	4.00(3.00,9.00)	3.00(3.00,5.00)	3.00(2.25,7.50)	4.00(2.00,4.25)	3.00(2.25,5.50)	0.856
造血重建时间(d)						
粒系重建时间	12.00(10.00,12.00)	12.50(11.00,14.00)	12.00(11.00,13.75)	11.50(10.00,14.00)	12.50(12.00,13.75)	0.358
血小板重建时间	13.00(11.50,20.00)	13.00(12.00,18.00)	12.50(12.00,17.50)	12.00(10.75,14.00)	12.50(10.50,27.75)	0.819

3　讨论

Allo-HSCT 作为治疗血液系统恶性疾病的重要手段,移植前需要抑制患者造血及免疫功能,因此在围移植期需要有效的血液成分输注支持[7]。本研究通过对 95 例行 allo-HSCT 治疗患者的回顾性分析,系统探讨了患者原发病类型、HLA 配型状态、ABO 血型相合情况以及移植物中 MNC、CD34⁺细胞、血小板数量等因素对血液成分输注需求及造血重建时间的影响,为临床制定个体化输血策略提供依据。

本研究发现,不同疾病类型患者在异基因造血干细胞移植后造血恢复呈现出差异性。AA 组、AML 组和 ALL 组患者移植后 Hb 水平及 Plt 计数较移植前显著升高,而 MDS 组患者 Plt 恢复明显,但 Hb 改善差异无统计学意义。这一结果揭示了 allo-HSCT 在不同疾病背景下对红系和巨核系造血重建影响的复杂性。AA 患者因骨髓造血功能衰竭,造血干细胞成功植入后可直接重建红系造血;AML 与 ALL 患者通过清髓性预处理,造血重建替代原有的病态造血。MDS 患者移植后虽然血小板计数显著改善,但血红蛋白改善不明显。这可能与 MDS 的克隆造血特性、骨髓微环境持续损伤、铁过载负担以及红系发育对微环境的高度敏感性有关[8]。有研究指出,AA 患者因骨髓造血功能衰竭,移植前长期处于严重的全血细胞减少状态,移植后血红蛋白恢复速度通常慢于恶性血液病患者,导致其对红细胞输注的依赖性更强[9]。AML 作为克隆性恶性疾病,与 AA 患者相比,其造血微环境在移植前破坏相对较轻,在预处理清髓时仍保留正常造血功能,移植前的血红蛋白水平高于 AA 患者[10]。同时,AML 患者的造血微环境状态更有利于供者干细胞的归巢、定植、增殖和分化,缩短了移植后红系造血恢复时间,进而减少红细胞输注量[11]。然而,本研究结果显示,不同疾病分类(AA、ALL、AML、MDS)患者移植期间红细胞和血小板输注量差异均无统计学意义。这一结果与既往研究报道不一致,可能是本研究纳入的患者尽管原发病不同,但入组患者移植前均达到一定的器官功能储备和血液学稳定状态,使不同疾病组间移植前基线 Hb 和 Plt 水平趋于一致。此外,标准化清髓处理方案、大剂量化疗和/或全身照射对骨髓造血功能的清除作用具有非选择性[12]。无论原发病为骨髓衰竭性疾病(AA)还是恶性克隆性疾病(AML、ALL、MDS),预处理后均进入相似的骨髓抑制期,造血重建过程主要依赖于供者干细胞的植入能力,而非受者原发病类型,可能是导致不同疾病组间输血需求差异无统计学意义的关键因素。

近年来,随着移植技术的提高,特别是后置环磷酰胺方案的应用,半相合移植的 GVHD 发生率显著降低,半相合与全相合移植在造血重建时间、血

液成分输注量等指标上差异无统计学意义[13-15]。本研究结果同样显示,HLA 半相合与全相合移植患者在血液成分输注量及造血重建时间上差异无统计学意义,可能得益于优化的免疫抑制方案,使得输血需求和造血重建趋于一致[16]。

ABO 血型不合的造血干细胞移植目前已占总体的 30%~50%。多项研究显示 ABO 血型不合对 allo-HSCT 的粒系和血小板植活时间、GVHD 发生及复发风险等均无显著影响[17-19]。本研究证实,ABO 血型相合情况对移植期间红细胞和血小板输注量及粒系和血小板重建时间无影响。尽管如此,在血型转变期间,血液成分支持治疗应选择配合型输注,以减少血型抗原及抗体对移植效果的影响[20]。

本研究重点分析了移植物中 MNC、$CD34^+$细胞及血小板数量对输血及造血重建的影响。结果显示,移植物中 $CD34^+$细胞数量是预测血小板重建时间及输注需求的关键指标。本研究证实,$CD34^+$细胞剂量低于 4×10^6/kg 是导致不良临床结局的独立危险因素,该组患者血小板重建中位时间和粒系重建中位时间较 $CD34^+$细胞(6~10)$\times10^6$/kg 组和>10×10^6/kg 组显著延迟,血小板输注量也明显增加。这与前期研究揭示的 $CD34^+$细胞剂量与造血重建时间之间的关系一致[21]。$CD34^+$细胞是造血干/祖细胞的标志,其数量直接反映移植物的造血重建潜能。充足的 $CD34^+$细胞输注可加速巨核系祖细胞植入,缩短血小板减少期,降低出血风险及血小板输注依赖。单个核细胞(MNC)是外周血干细胞移植物中的主要细胞成分,其数量是评估移植物质量的重要指标[22]。本研究显示移植物中 MNC 数量与粒系重建时间相关,MNC (6~10)$\times10^6$/kg 组粒系重建中位时间较(2~4)$\times10^6$/kg 组缩短,移植物中 MNC 数量不足,影响其中所包含的造血干/祖细胞绝对数量,导致骨髓重建时间延长,且所包含的单核细胞和间充质基质细胞前体数量减少,影响移植后归巢,不利于修复损伤后的造血微环境。然而,过高的 MNC 数量(>10×10^6/kg)并未进一步缩短重建时间,可能与 T 细胞含量增加引起的免疫反应相关。此外,本研究发现移植物中血小板数量对输血及造血重建无显著影响,表明移植物中血小板主要起即刻止血作用,对长期造血重建贡献有限,临床不应以移植物血小板数量作为采集质量评估指标。

基于本研究结果,建议优化供者干细胞采集方案,确保移植物 $CD34^+$细胞数量≥4×10^6/kg,对于首次采集未达标者,应积极进行二次采集,以保障移植后造血快速重建。动员前需对供者进行充分评估,识别可能影响动员效果的因素,对于采用粒细胞集落刺激因子(G-CSF)动员的健康供者,在常规监测白细胞及 MNC 计数的同时,也应关注 $CD34^+$细胞数量的变化。对于动员反应不佳的供者,可考虑优化动员方案,例如适当延长 G-CSF 动员天数,或采用 G-CSF 联合普乐沙福的强化动员策略,在采集过程中,需根据供者血容量精确设置处理血量,并优化分离参数,以实现 MNC 及 $CD34^+$细胞的高效收集,最大程度保障移植效果[23-24]。

本研究仅收集了本院住院接受异基因造血干细胞移植治疗患者的部分临床资料,作为单中心回顾性研究,样本量有限,可能存在Ⅱ型统计错误(假阴性结果),未能检测到实际存在的组间差异。本研究 MNC 部分分组样本量过小可能导致统计学效能不足,并影响结果的稳健性,未来有待于多中心大样本研究进一步验证。此外,对于既往史、移植前等待时间、移植后并发症以及其他疾病的影响等资料收集未纳入研究,缺乏对患者长期随访及预后情况的评估,这些局限性可能会在一定程度上影响结果的客观性。

综上,接受异基因造血干细胞移植治疗患者血液输注率较高,部分患者血液输注需求量较大,为了确保患者的安全和移植效果,临床实践中应针对不同基础疾病和 ABO 血型状态实施个体化输血治疗,并通过优化干细胞采集策略确保足够的 $CD34^+$细胞数量,最终目标是在保障移植安全的同时,最大限度地降低输血相关风险,改善患者的生活质量与长期预后。

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

本研究已获青岛大学附属医院伦理委员会批准(审批号:QYFYWZLL50369);本研究纳入的患者本人或家属已签署知情同意书。

作者贡献/Authors' Contribution

王蓉:数据分析、论文撰写;刘青:数据分析、收集;孟子凡:数据收集、论文校对;张少强:研究设计、论文审核。

[参考文献]

[1] 朱晓璐,黄晓军,王昱. 造血干细胞移植在急性髓系白

血病中的应用进展[J]. 中华血液学杂志, 2025, 46(2): 179-185.
ZHU X L, HUANG X J, WANG Y. Progress in hematopoietic stem cell transplantation for acute myeloid leukemia[J]. Chin J Hematol, 2025, 46(2): 179-185.

[2] ROMMELEY M, SPIES-WEISSHART B, SCHILLING K, et al. Reconstitution and functional analyses of neutrophils and distinct subsets of monocytes after allogeneic stem cell transplantation[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2011, 137(9): 1293-1300.

[3] SCOTT B L, PASQUINI M C, FEI M, et al. Myeloablative versus reduced-intensity conditioning for hematopoietic cell transplantation in acute myelogenous leukemia and myelodysplastic syndromes—long-term follow-up of the BMT CTN 0901 clinical trial[J]. Transplant Cell Ther, 2021, 27(6): 483. e1-483. e6.

[4] 潘波, 官笑羽, 王珏, 等. 我国 2018-2023 年红细胞输血反应分析[J]. 中国输血杂志, 2025, 38(5): 704-710.
PAN B, GUAN X Y, WANG J, et al. Analysis of red blood cell transfusion reactions in China from 2018 to 2023[J]. Chin J Blood Transfusion, 2025, 38(5): 704-710.

[5] 俞霞, 马淑群, 施明秀, 等. 输血不良反应相关影响因素分析[J]. 检验医学与临床, 2024, 21(15): 2254-2259.
YU X, MA S Q, SHI M X, et al. Analysis of related influencing factors of adverse reactions of blood transfusion[J]. Lab Med Clin, 2024, 21(15): 2254-2259.

[6] MALARD F, JENQ R R. The Microbiome and Its Impact on Allogeneic Hematopoietic Cell Transplantation[J]. Cancer J, 2023, 29(2): 75-83.

[7] 周雪莹, 张美玉, 魏海潮, 等. 造血干细胞移植患者围术期用血情况分析[J]. 临床血液学杂志, 2025, 38(8): 598-602.
ZHOU X Y, ZHANG M Y, WEI H C, et al. Analysis of perioperative blood use in patients with hematopoietic stem cell transplantation[J]. J Clin Hematol, 2025, 38(8): 598-602.

[8] WANG C, ZHAO M, NIE Y, et al. Impact of iron overload on poor graft function after allo-HSCT in a patient with transfusion-dependent low-risk MDS: A case report and literature review[J]. Medicine (Baltimore), 2022, 101(51): e32012.

[9] LAI D, CHEN D, CHEN X, et al. Effect of major ABO blood group mismatched HSCT on blood transfusion and clinical outcomes in AA patients[J]. Ann Hematol, 2025, 104(3): 1931-1947.

[10] XUE R, DAI M, JIANG E, et al. Effect of pre-transplant cytoreductive therapy on the outcomes of patients with MDS or secondary AML evolving from MDS undergoing allo-HSCT: a secondary analysis of an RCT[J]. Blood Cancer J, 2025, 15(1): 21.

[11] 罗小华, 陈玉婷, 王兰, 等. 急性髓系白血病造血干细胞移植后间皮素特异性 T 细胞免疫重建初步研究[J]. 中国免疫学杂志, 2025, 41(9): 2237-2242.
LUO X H, CHEN Y T, WANG L, et al. Mesothelin-specific T-cell immune reconstitution after hematopoietic stem cell transplantation in acute myeloid leukemia[J]. Chin J Immunol, 2025, 41(9): 2237-2242.

[12] MCDONALD G B, SANDMAIER B M, MIELCAREK M, et al. Survival, nonrelapse mortality, and relapse-related mortality after allogeneic hematopoietic cell transplantation: comparing 2003-2007 versus 2013-2017 cohorts[J]. Ann Intern Med, 2020, 172(4): 229-239.

[13] MCCURDY S R, KASAMON Y L, KANAKRY C G, et al. Comparable composite endpoints after HLA-matched and HLA-haploidentical transplantation with post-transplantation cyclophosphamide[J]. Haematologica, 2017, 102(2): 391-400.

[14] KASAMON Y L, BOLAÑOS-MEADE J, PRINCE G T, et al. Outcomes of nonmyeloablative hla-haploidentical blood or marrow transplantation with high-dose post-transplantation cyclophosphamide in older adults[J]. J Clin Oncol, 2015, 33(28): 3152-3161.

[15] KASAMON Y L, LUZNIK L, LEFFELL M S, et al. Nonmyeloablative HLA-haploidentical bone marrow transplantation with high-dose posttransplantation cyclophosphamide: effect of HLA disparity on outcome[J]. Biol Blood Marrow Transplant, 2010, 16(4): 482-489.

[16] PENACK O, MARCHETTI M, ALJURF M, et al. Prophylaxis and management of graft-versus-host disease after stem-cell transplantation for haematological malignancies: updated consensus recommendations of the European Society for Blood and Marrow Transplantation[J]. Lancet Haematol, 2024, 11(2): e147-e159.

[17] 朱晓璐, 黄晓军, 王昱. 造血干细胞移植在急性髓系白血病中的应用进展[J]. 中华血液学杂志, 2025, 46(2): 179-185.
ZHU X L, HUANG X J, WANG Y. Progress in hematopoietic stem cell transplantation for acute myeloid leukemia[J]. Chin J Hematol, 2025, 46(2): 179-185.

[18] HIROKAWA M, FUKUDA T, OHASHI K, et al. Efficacy and long-term outcome of treatment for pure red cell aplasia after allogeneic stem cell transplantation from major ABO-incompatible donors[J]. Biol Blood Marrow Transplant, 2013, 19(7): 1026-1032.

[19] ROWLEY S D, DONATO M L, BHATTACHARYYA P. Red blood cell-incompatible allogeneic hematopoietic

progenitor cell transplantation[J]. Bone Marrow Transplant, 2011, 46(9):1167-1185.

[20] 李小飞,马春娅,侯瑞琴. ABO 血型不合异基因造血干细胞移植受者血型检测与血液成分输注专家共识[J]. 中国输血杂志,2023,36(11):971-977.
LI X F, MA C Y, HOU R Q. Expert consensus on recipient blood type test and blood component transfusion after ABO-incompatibility hematopoietic stem cell transplantation[J]. Chin J Blood Transfusion, 2023, 36(11):971-977.

[21] WELLS J R, KANG G, SULIMAN A Y, et al. Delayed platelet recovery and mortality after allogeneic stem cell transplantation in children[J]. Bone Marrow Transplant, 2022, 57(8):1347-1349.

[22] 刘代红,黄晓军,陈欢,等. 异基因造血干细胞移植后供者外周血造血干细胞输注预防高危白血病复发[J]. 中华血液学杂志,2006,27(1):6-9.
LIU D H, HUANG X J, CHEN H, et al. Donor peripheral hematopoietic stem cells infusion for prophylaxis of relapse of high risk leukemia after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation[J]. Chin J Hematol, 2006, 27(1):6-9.

[23] 苗莹莹,张根玲,冉茜,等. 健康供者异基因外周血造血干细胞移植采集因素分析[J]. 中国输血杂志,2020,33(9):914-917.
MIAO Y Y, ZHANG G L, RAN Q, et al. Collection factors associated with allogeneic peripheral blood hematopoietic stem cell yield in healthy donors[J]. Chin J Blood Transfusion, 2020, 33(9):914-917.

[24] SHAHZAD M, SIDDIQUI R S, ANWAR I, et al. Outcomes with CD34-selected stem cell boost for poor graft function after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation: a systematic review and meta-analysis[J]. Transplant Cell Ther, 2021, 27(10):877. e1-877. e8.

(2026-03-17 收稿,04-25 修回,06-05 接收)

本文编辑:李宜蔓

(上接第 1236 页)

[22] MAHONEY K M, SHUKLA S A, PATSOUKIS N, et al. A secreted PD-L1 splice variant that covalently dimerizes and mediates immunosuppression[J]. Cancer Immunol Immunother, 2019, 68(3):421-432.

[23] MANNE B K, XIANG S C, RONDINA M T. Platelet secretion in inflammatory and infectious diseases[J]. Platelets, 2017, 28(2):155-164.

[24] LIU S, GUO B, SONG L, et al. Platelet-derived transforming growth factor-beta1: A new hope for cerebral malaria treatment[J]. ACS Infect Dis, 2025, 11(11):3021-3029.

[25] KUCHROO J R, GOLDMAN N, SHARPE A H. PD-1, BTLA and TIGIT as therapeutic targets for rheumatic disease[J]. Nat Rev Rheumatol, 2026, 22(2):89-104.

[26] TAUBER P A, RULAND J. T cell lymphomas: cancers of aberrant immune synapse signalling[J]. Nat Rev Immunol, 2026, 26(5):315-329.

(2026-01-21 收稿,04-08 修回,04-28 接收)

本文编辑:李宜蔓