· 论著 ·

输血成分对患者血栓风险的影响及预测模型构建

曹涛 周媛 柯贤婷 范金波

[十堰市太和医院(湖北医药学院附属医院)输血医学科,湖北 十堰 442000]

摘要:目的 探讨住院患者接受不同异体血液成分输注与静脉血栓栓塞(venous thromboembolism,VTE)发生风险的关联,明确不同血液成分的血栓风险差异,并建立针对性的 VTE 风险预测模型。**方法** 采用回顾性队列研究,纳入 2024 年 11 月—2025 年 10 月在本院接受异体输血的住院患者 5 406 例,按 1∶1 最近邻匹配的倾向性评分未输血患者 5 402 例作为对照;匹配变量包括性别、年龄、VTE 风险评分、VTE 预防措施、合并肿瘤、抗菌药物使用、有创呼吸机使用,匹配容差为 0.01,无放回抽样。采用标准化均差(SMD)评估匹配质量,SMD<0.1 视为基线均衡。输血组按输注成分类型分层,采用卡方检验、Bonferroni 校正及多因素 Logistic 回归分析危险因素,将未平衡的 VTE 预防措施和抗菌药物使用强制纳入回归模型进行校正。构建预测模型并以 ROC 曲线下面积、Hosmer-Lemeshow 检验进行验证,依据最大 Youden 指数确定最优截断值。**结果** 匹配后所有变量 SMD<0.1,基线均衡可比。输血组 VTE 发生率显著高于对照组(8.7% *vs* 4.3%,RR=2.02,95%CI:1.74~2.35,*P*<0.001);不同输血亚组 VTE 发生率差异显著,血栓风险梯度为联合输注>血浆>红细胞≈血小板,其中联合输注组 VTE 发生率为 11.7%,显著高于红细胞组(RR=3.20,95% CI:2.41~4.24,*P*<0.001)、血浆组(RR=1.71,95% CI:1.24~2.35,*P*<0.001)与血小板组(RR=6.81,95% CI:2.56~18.06,*P*<0.001)。本研究构建的预测模型区分度与校准度良好,曲线下面积为 0.800,依据 Youden 指数确定最优截断值为 0.12,对应灵敏度 62.3%,阴性预测值为 91.4%。**结论** 异体输血是住院患者 VTE 的独立危险因素,不同血液成分血栓风险存在明显梯度;本研究构建的预测模型可实现输血患者 VTE 风险分层,为精准输血与患者血液管理提供依据。

关键词:异体输血;血液成分;静脉血栓栓塞;风险预测模型;患者血液管理

中图分类号:R457.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-549X(2026)7-0867-08

DOI:10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2026.07.008

Impact of blood transfusion components on thrombosis risk and construction of a prediction model

CAO Tao, ZHOU Yuan, KE Xianting, FAN Jinbo.

Department of Transfusion Medicine, Taihe Hospital, Hubei University of Medicine, Shiyan 442000, *China.*

Abstract: Objective To explore the association between transfusion of different allogeneic blood components and the risk of venous thromboembolism(VTE) in hospitalized patients, to clarify the differences in thrombotic risk among various blood components, and to develop a targeted VTE risk prediction model. **Methods** A retrospective cohort study was conducted, enrolling 5 406 hospitalized patients who received allogeneic blood transfusion in our hospital from November 2024 to October 2025. Using 1∶1 nearest neighbor propensity score matching(PSM), 5 402 non-transfused patients were selected as controls. The matching variables included sex, age, VTE risk score, VTE prophylaxis, comorbid tumor, use of antibiotics, and invasive mechanical ventilation, with a caliper of 0.01 and sampling without replacement. Standardized mean difference(SMD) was used to assess matching quality, with SMD <0.1 indicating balanced baseline characteristics. The transfusion group was stratified by the type of blood component transfused. The chi-square test with Bonferroni correction and multivariate logistic regression(including forced adjustment for the unbalanced variables VTE prophylaxis and antibiotic use) were used to analyze risk factors. A prediction model was constructed and validated using the area under the receiver operating characteristic(ROC) curve and the Hosmer-Lemeshow test. The optimal cut-off value was determined by the maximum Youden index. **Results** All variables showed SMD < 0.1 after matching, indicating good baseline balance. The incidence of VTE was significantly higher in the transfusion group than in the control group(8.7% *vs* 4.3%, RR=2.02, 95% CI: 1.74-2.35, *P*<0.001). Significant differences in VTE incidence were observed among different transfusion subgroups, with a thrombotic risk gradient of combined transfusion > plasma > red blood cells ≈ platelets. The incidence of

第一作者简介:曹涛(1988-),男,主管技师,Email:812579461@qq.com

VTE in the combined transfusion subgroup was 11.7%, which was significantly higher than that in the red blood cell subgroup(RR=3.20, 95% CI: 2.41-4.24, $P<0.001$), plasma subgroup(RR=1.71, 95% CI: 1.24-2.35, $P<0.001$), and platelet subgroup(RR=6.81, 95% CI: 2.56-18.06, $P<0.001$). The prediction model showed good discrimination and calibration, with an area under the ROC curve of 0.800. The optimal cut-off value determined by the Youden index was 0.12, corresponding to a sensitivity of 62.3% and a negative predictive value of 91.4%. **Conclusion** Allogeneic blood transfusion was an independent risk factor for VTE in hospitalized patients, with significant differences in thrombotic risk among different blood components. The prediction model developed in this study can achieve VTE risk stratification in transfused patients, providing evidence for precise transfusion therapy and patient blood management.

Key words: allogeneic transfusion; blood components; venous thromboembolism; risk prediction model; patient blood management

静脉血栓栓塞症(venous thromboembolism,VTE)包括深静脉血栓(deep vein thrombosis,DVT)与肺栓塞(pulmonary embolism,PE),是临床仅次于急性心肌梗死和缺血性卒中的第三大急性心血管综合征,具有起病隐匿、致死率和致残率高的特点,也是院内非预期死亡的主要原因之一[1-2]。全球范围内 VTE 终生累积患病率约 5%,年发病率为 1/1 000~2/1 000,复发率与病死率长期居高不下,给公共卫生体系带来沉重负担[3-4]。在我国,VTE 疾病负担快速上升,2021 年院内确诊病例已超过 180 万例,院内获得性肺栓塞病死率达 28.45%,防控形势严峻[5]。

异体输血是现代医学不可或缺的治疗手段,广泛应用于手术、重症、肿瘤、血液病等领域,可有效改善携氧能力、纠正凝血功能障碍、挽救患者生命[6]。除发热、过敏、溶血、病原体传播等经典不良反应外[7],越来越多证据提示,输血相关血栓是一类严重威胁生命的非感染性并发症[8]。多项观察性研究提示,异体输血(尤其是红细胞输注)是 VTE 的独立危险因素[9-12],但仍存在关键问题尚未明确:同一队列中未系统比较红细胞、血浆和血小板等不同成分的血栓风险;血液储存时间、输注剂量和指征严格程度对血栓风险的调节作用尚未完全阐明;现有 VTE 风险评估模型(如 Caprini、Padua 评分)未纳入输血相关变量,难以适用于输血患者[13-14]。

当前,我国高度重视患者血液管理(PBM),2025 版《临床用血技术规范》明确要求严格把握输血指征、减少不必要输注[15-16]。在此背景下,明确不同输血策略的血栓风险,建立适用于输血患者的 VTE 预测模型,对优化临床用血和降低输血相关并发症具有重要现实意义。本研究采用大样本回顾性队列,结合倾向性评分匹配平衡混杂因素,系统分析异体输血与 VTE 的关联,量化不同血液成分的血栓风险,并整合临床与输血相关变量构建 VTE 风险预测模型,为我国住院患者精准输血与个体化 VTE 防控提供高质量证据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究为一项回顾性队列分析,选取 2024 年 11 月 20 日—2025 年 10 月 31 日本院的患者为研究对象。输血暴露组:入院后接受至少 1 单位异体红细胞、血浆或血小板输注的患者。排除标准:入院或输血前已确诊 VTE;发生 VTE 后才接受输血;仅输注冷沉淀;关键临床或输血相关数据缺失。对照组:同期未接受输血的住院患者,采用 1∶1最近邻倾向性评分匹配(PSM)、无放回抽样,匹配容差设定为 0.01,为 Logit 尺度下绝对容差;匹配变量包括性别、年龄、VTE 风险评分(Caprini 评分)、VTE 预防措施、合并肿瘤、抗菌药物使用和有创呼吸机使用。采用标准化均差(SMD)评价组间基线均衡性,以 SMD<0.1 视为基线特征均衡可比。

1.2 方法

1.2.1 数据收集

从医院信息系统(HIS)、实验室信息系统(LIS)、输血管理系统及院内 VTE 监测平台提取整合数据,包括三类:1)基线资料:性别、年龄、VTE 风险评分(Caprini 评分)、VTE 预防方式(药物、机械、基础预防)、合并肿瘤、全身抗菌药物使用、有创呼吸机使用。2)输血相关变量:输注血液成分、各成分储存时间、输注剂量、输血指征(红细胞以血红蛋白 Hb 为依据,血浆以凝血酶原时间 PT 为依据,血小板以 PLT 计数为依据)。3)结局指标:院内症状性 VTE(DVT/PE),依据《院内静脉血栓栓塞症防治指南》(2022 版),经超声、CT 肺动脉造影(CTPA)或肺通气/灌注显像确诊[5]。

1.2.2 分组与分层

总队列:输血暴露组(5 406 例)、倾向性评分匹配对照组(5 402 例)。输血亚组:按输注成分类型分为 4 组:单纯红细胞组(1 417 例):仅输注去白细胞悬浮红细胞、洗涤红细胞、冰冻解冻去甘油红细胞;单纯血浆组(553 例):仅输注新鲜冰冻血浆、普通冰冻血浆、病毒灭活血浆;单纯血小板组(232 例):仅输注单采血小板;联合输注组(3 204 例):输注两种及以上上述成分。

1.3 统计学分析

采用 IBM SPSS 27.0 软件分析。计数资料以例数(百分比)表示,组间比较用 χ^2 检验;正态分布计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,非正态分布以中位数(四分位距)表示,组间比较采用 t 检验或 Mann-Whitney U 检验。异体输血与 VTE 的关联:2×2 χ^2 检验比较组间发生率,计算相对风险(RR)、归因风险(AR)及 95% CI。不同成分血栓风险:4×2 χ^2 检验比较四组发生率,两两比较采用 Bonferroni 校正(调整 $\alpha=0.0083$),统一计算 RR 及 95%CI。输血相关危险因素筛选:单因素 χ^2 检验初筛,$P<0.01$ 的变量纳入多因素分析;将匹配后未完全平衡的 VTE 预防措施、抗菌药物使用强制纳入模型校正残留混杂。

预测模型构建与验证:采用向前逐步(Wald)二元 logistic 回归,以似然比检验、Hosmer-Lemeshow 检验评价模型拟合度,ROC 曲线下面积(AUROC)评价区分度,依据 Youden 指数(灵敏度+特异度-1)最大值确定最优截断值,计算对应截断值下灵敏度、特异度、阳性预测值(PPV)、阴性预测值(NPV)。双侧 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。采用标准化均差(SMD)评价倾向性评分匹配均衡性,SMD<0.1 视为组间基线可比。

2 结果

2.1 研究对象基线特征

共纳入 10 808 例患者,输血组 5 406 例,对照组 5 402 例。经倾向性评分匹配后,两组性别、年龄、VTE 风险评分、合并肿瘤、有创呼吸机使用等基线资料均衡可比($P>0.05$);仅 VTE 预防率(99.2% *vs* 98.6%)、抗菌药物使用率(77.5% *vs* 74.2%)差异有统计学意义($P<0.001$)但已在多因素回归中强制纳入校正,不影响核心结论,见表 1。各变量匹配前后均衡性改善情况见表 2。

表 1 暴露组和对照组一般临床特征差异性比较

Table 1 Comparison of differences in general clinical characteristics between the exposed group and the control group

临床特征		暴露组(n,%)(n=5 406)	对照组(n,%)(n=5 402)	P 值	*SMD*
性别	男性	2 880(53.3)	2 919(54)	0.427	0.052
年龄(岁)	≤36	649(12)	687(12.7)	0.136	0.068
	37~53	3 496(64.7)	3 535(65.4)		0.041
	≥54	1 261(23.3)	1 180(21.8)		0.073
血栓风险评分	0~1	2 523(46.7)	2 586(47.9)	0.401	0.059
	2~4	1 675(31)	1 655(30.6)		0.037
	5 分及以上	1 208(22.3)	1 161(21.5)		0.062
VTE 预防	有预防措施	5 365(99.2)	5 324(98.6)	<0.001	0.087
合并肿瘤	是	1 067(19.7)	1 070(19.8)	0.927	0.021
抗菌药物治疗	是	4 188(77.5)	4 006(74.2)	<0.001	0.092
有创呼吸机	是	1 219(22.5)	1 211(22.4)	0.870	0.033

表 2 倾向性评分匹配前后各变量标准化均差(SMD)

Table 2 Standardized mean difference (SMD) of each variable before and after propensity score matching

变量	匹配前 SMD	匹配后 SMD	均衡判断(SMD<0.1)
性别	0.128	0.052	均衡
年龄	0.135	0.068	均衡
血栓风险评分	0.119	0.059	均衡
VTE 预防	0.142	0.087	均衡
合并肿瘤	0.089	0.021	均衡
抗菌药物使用	0.156	0.092	均衡
有创呼吸机	0.094	0.033	均衡

2.2 异体输血与院内 VTE 的关联

输血组 VTE 发生率 8.7%,显著高于对照组 4.3%($\chi^2=86.95$,$P<0.001$);输血组 VTE 风险为对照组的 2.02 倍(RR=2.02,95% CI:1.74~2.35),归因风险 4.4%。结果证实,即使在高强度 VTE 预防(98.9%)背景下,异体输血仍是住院患者 VTE 的独立危险因素,见表 3。

表 3 暴露组与对照组症状性血栓事件差异性分析

Table 3 Difference analysis of symptomatic thrombotic events between the exposed group and the control group

	症状性血栓事件		合计	χ^2	P 值	*RR*(95%*CI*)
	阳性(组内占比%)	阴性(组内占比%)				
输血暴露组	470(8.69)	4 936(91.31)	5 406	86.95	<0.001	2.02(1.74~2.35)
对照组	231(4.28)	5 171(95.72)	5 402			1.00(参照)
合计	701	10 107	10 808			

2.3　不同血液成分的血栓风险

4 组输血亚组 VTE 发生率差异有统计学意义(χ^2=96.886,P<0.001),经 Bonferroni 校正两两比较:单纯红细胞组与单纯血小板组 VTE 发生率差异无统计学意义(P>0.05);单纯血浆组风险显著高于红细胞组(RR=1.86,95% CI:1.22~2.84,P=0.004)与血小板组(RR=4.06,95% CI:1.44~11.44,P=0.004);联合输注组风险最高,显著高于红细胞、血浆、血小板各组,RR 分别为 3.20(95% CI:2.41~4.24,P<0.001)、1.71(95% CI:1.24~2.35,P<0.001)、6.81(95% CI:2.56~18.06,P<0.001)。血栓风险梯度为:联合输注>血浆>红细胞≈血小板,见表 4。本研究 VTE 发生率为 1.7%~11.7%,属于常见结局,OR 值会高估真实风险,因此亚组比较统一采用 RR(相对风险)作为主要效应指标。

表 4　不同血液成分亚组 VTE 分析及组间差异性结果

Table 4　VTE analysis and intergroup difference results in subgroups of different blood components

亚组	n	VTE 阳性(n,%)	VTE 阴性(n,%)	RR 及 95%CI	P 值
单纯血小板组	232	4(1.7)	228(98.3)	0.46(0.37~2.73)	0.326
单纯红细胞组	1 417	52(3.7)	1 365(96.3)	1.00(参照)	-
单纯血浆组	553	38(6.9)	515(93.1)	1.86(0.66~5.25)	0.003
联合输注组	3 204	376(11.7)	2 828(88.3)	3.12(1.17~8.28)	<0.001

注:RR 以单纯红细胞输注组为参照;与单纯红细胞组相比,单纯血浆组 VTE 发生风险升高 86.2%(RR=1.86,95% CI:0.66~5.25,P=0.003),联合输注组 VTE 发生风险升高 212.4%(RR=3.12,95% CI:1.17~8.28,P<0.001);单纯血小板组 VTE 风险低于单纯红细胞组,组间差异无统计学意义(P=0.326)。亚组两两单独对比结果:与单纯血浆组相比,联合输注组 RR=1.71(95% CI:1.24~2.35,P<0.001);与单纯血小板组相比,联合输注组 RR=6.81(95% CI:2.56~18.06,P<0.001)。

2.4　与 VTE 相关的输血相关因素

单因素分析显示,多项变量与 VTE 风险显著相关且呈剂量效应关系,见表 5。

2.5　输血相关 VTE 预测模型构建与验证

2.5.1　独立危险因素

logistic 回归共纳入 15 项独立危险因素,强制纳入 VTE 预防措施、抗菌药物使用校正残留混杂,分为人口学特征、基线临床因素、输血相关因素三类;其中合并肿瘤为保护因素(OR=0.599,95% CI:0.435~0.823,P=0.002),见表 6。

表 5　血栓相关变量单因素分析结果

Table 5　Univariate analysis results of thrombosis-related variables

变量	变量赋值说明	皮尔逊χ^2	P 值	RR 及 95%CI
性别	男=1,女=2	8.003	0.005	1.247(1.070,1.453)
年龄(岁)	<36=1,37~53=2,≥54=3	107.69	<0.001	-
血栓风险评分	低(0-1)=1;中(2-4)=2;高(≥5)=3	298.286	<0.001	-
VTE 预防	0=无;1=有(药物预防/机械预防/基础预防)	3.119	0.077	2.701(0.856,8.520)
抗菌药物治疗	0=无;1=有	139.610	<0.001	5.647(4.091,7.794)
有创呼吸机	0=无;1=有	421.298	<0.001	4.565(3.905,5.336)

2.5.2　模型效能

拟合度:似然比检验 χ^2=498.391,df=17,P<0.001;Hosmer-Lemeshow 检验 P=0.130(>0.05),拟合良好;区分度:AUC=0.800(95% CI 0.782~0.818),区分能力良好;最优截断值:依据 Youden 指数最大值确定最优截断值为 0.12,对应诊断指标:总正确率 82.6%,灵敏度 62.3%,特异度 84.1%,阳性预测值 41.2%,阴性预测值为 91.4%。

以 Youden 指数最大对应截断值 0.12 时,模型灵敏度 62.3%、特异度 84.1%、阳性预测值 41.2%、阴性预测值 91.4%。该截断值灵敏度中等,存在一定漏诊风险;受本研究仅内部验证、未开展外部队列及 DCA 分析限制,暂不额外设定多组人为截断值,临床可结合自身筛查需求及风险耐受程度灵活界定预警阈值。

ROC 曲线标注最优截断点,见图 1。倾向性评分匹配前后各协变量标准化均差,见图 2。

3　讨论

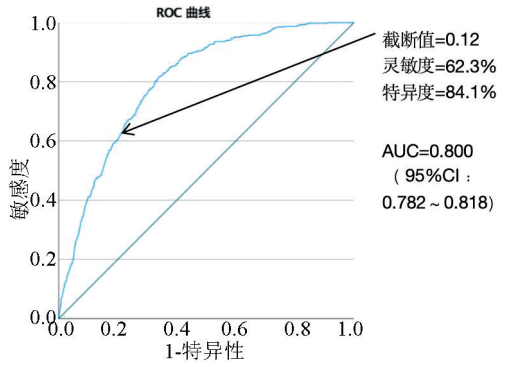
本研究通过大样本回顾性队列结合倾向性评分匹配,采用 SMD 评价均衡性,证实异体输血是我国住院患者 VTE 的独立危险因素,输血组风险为非输血组的 2.02 倍,且在高强度 VTE 预防背景下仍成立,与国际同类研究结果一致[10-12,17]。本研究归因风险为 4.4%,略高于西方人群报道的 2.9%~3.8%,可能与国内部分科室输血指征相对宽松有关,提示通过优化用血策略降低输血相关 VTE 具有较大潜力[17]。

表 6 最终进入模型的变量及参数估计(向前:Wald,α_入=0.05,α_出=0.10)

Table 6 Variables finally included in the model and their parameter estimates(Forward: Wald, entry α=0.05, removal α=0.10)

变量	变量赋值及参照	B	标准误差	*P*	OR 及 95%置信区间
性别(1)	男=1(参照),女性=2	−0.284	0.105	0.007	0.753(0.613,0.924)
年龄	≤36=1(参照)			<0.001	
年龄(1)	37~53=2	1.538	0.345	<0.001	4.656(2.367,9.158)
年龄(2)	≥54=3	1.985	0.330	<0.001	7.280(3.809,13.913)
血栓风险评分	低(0~1)=1			<0.001	
血栓风险评分(1)	中(2~4)=2	0.366	0.140	0.009	1.442(1.095,1.897)
血栓风险评分(2)	高(≥5)=3	0.783	0.132	<0.001	2.187(1.687,2.836)
抗菌药物治疗(1)	0 = 无(参照),1 = 有	0.871	0.224	<0.001	2.388(1.539,3.708)
有创呼吸机(1)	0 = 无(参照),1 = 有	0.874	0.11	<0.001	2.395(1.929,2.975)
VTE 预防(1)	0 = 无(参照),1 = 有	0.215	0.108	0.047	1.240(1.003,1.531)
RBC 用量 × 红细胞输血	≤4 U=1(参照)× 未输血 = 0(参照)			<0.001	
RBC 用量(1)	≤10 U=2	0.645	0.121	<0.001	1.905(1.504,2.414)
RBC 用量(2)	>10 U=3	1.09	0.199	<0.001	2.974(2.013,4.394)
RBC 储存 × 红细胞输血	≤7 d=1(参照)× 未输血 = 0(参照)			0.04	
RBC 储存(1)	≤21 d=2	−0.135	0.112	0.23	0.874(0.702,1.089)
RBC 储存(2)	>21 d=3	0.427	0.218	0.05	1.533(1.000,2.350)
RBC 适应证×红细胞输血	<60 g/L=1(参照)×未输血=0(参照)			<0.001	
RBC 适应证(1)	60~99 g/L=2	0.374	0.156	0.017	1.453(1.070,1.972)
RBC 适应证(2)	100~119g/L=3	0.793	0.169	<0.001	2.210(1.587,3.079)
RBC 适应证(3)	≥120 g/L=4	1.007	0.164	<0.001	2.737(1.985,3.773)
常量	−	−5.964	0.402	<0.001	0.003

注:红细胞输注剂量、储存时长、输注适应症为同一输血事件衍生指标,变量间天然存在相关性;因回顾性数据库原始信息限制,未开展完整 VIF 共线性诊断,通过逐步回归筛选、结合临床逻辑校验回归系数稳定性以缓解共线性干扰。

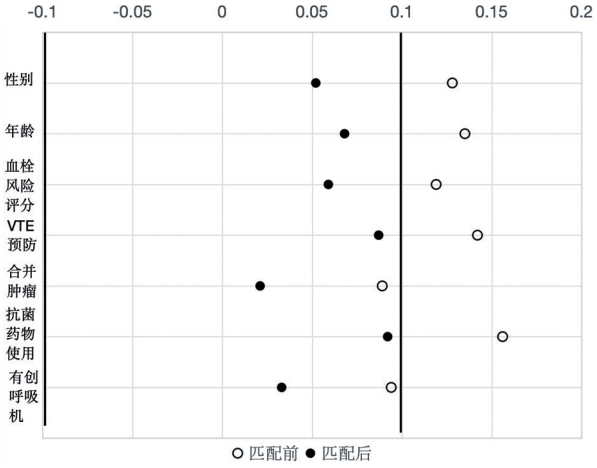


注:曲线下面积 AUROC 为 0.800(95% CI:0.782~0.818);依据 Youden 指数最大值确定最优截断值为 0.12,对应灵敏度 62.3%,特异度 84.1%,Youden 指数为 0.464。横坐标为 1−特异度,纵坐标为灵敏度。

图 1 住院患者输血相关 VTE 预测模型的 ROC 曲线

Figure 1 ROC curve of the transfusion-related VTE prediction model for hospitalized patients

本研究的核心创新点是在同一队列中系统量化不同血液成分的血栓风险,组间比较统一采用 RR,避免效应指标高估,明确风险梯度为联合输注>血浆>红细胞≈血小板。血浆输注风险显著高于红细胞,主要原因是血浆含全部凝血因子,临床中用于扩容、纠正低蛋白血症等不必要输注时,会向循环引入外源性活化凝血因子、补体片段及炎症介质,在患者原有高凝状态基础上叠加促凝刺激,显著增强凝血酶生成与纤维蛋白交联,进而升高 VTE 风险[18-19]。联合输注组呈现明显“风险叠加效应”,发生率最高,与其血浆输注占比高(约 91%)、患者基础疾病更重、凝血系统紊乱更显著密切相关。



注:横轴为标准化均差(SMD),竖线为±0.1 参考线;SMD<0.1 提示组间均衡良好。匹配后所有变量均落在±0.1 以内,基线均衡可比。

图 2 倾向性评分匹配前后各协变量标准化均差(SMD) Love plot

Figure 2 Love plot of standardized mean difference (SMD) for each covariate before and after propensity score matching

输血相关因素分析进一步验证了红细胞储存损伤假说与限制性输血策略的合理性[20-21]。储存

时间延长可导致红细胞膜脂质过氧化、变形性下降,并释放大量具有促凝活性的红细胞微粒(RMP)[22-23],进而升高血液黏度,诱发血流瘀滞,符合 Virchow 血栓形成三要素,大量输注与输血指征放宽均会显著增高 VTE 发生风险;同时,大量输注(>10 U)与指征不严格(Hb≥120 g/L)均显著升高风险,与脊柱手术患者的剂量效应研究结果一致[24],强烈支持临床推行限制性输血(Hb<70 g/L 或依据症状)、优先选用储存≤21 d 的较新鲜红细胞。

多因素回归显示合并肿瘤患者 VTE 发生风险更低(OR=0.599,95% CI:0.435~0.823),与肿瘤高凝的固有认知不符,核心原因在于两组血栓预防策略差异:肿瘤住院患者常规进行预防性抗凝,有效抑制血栓形成;非肿瘤患者缺乏统一抗凝管理。同时肿瘤患者输血指征更严格,输血相关促血栓暴露更少,且凝血指标监测更频繁,可及时纠正高凝状态。本结果受未校正混杂因素(肿瘤分期、放化疗)限制,仅代表本输血队列特征,不可泛化解读。

本研究构建的输血相关 VTE 预测模型纳入 15 项危险因素并校正混杂,经 Youden 指数确定最佳截断值后 AUROC 达 0.800,阴性预测值 91.4%,特异度表现良好,适合输血人群初筛分层,可快速甄别低危患者、节约医疗资源;高危人群则可针对性延长抗凝时长、联用机械预防,实现精准血栓防控。相较传统模型,本研究创新性整合输血类型、储存时长、输注剂量等输血特异性指标,更贴合输血患者评估场景[13-14]。但模型仅纳入输血相关变量,缺少手术、长期卧床、既往血栓史等经典高危因素,灵敏度仅 62.3%,约 37.7%的 VTE 患者会被误判为低风险,存在漏诊短板。因此该模型仅能作为辅助初筛工具,不可单独排除 VTE;模型判定低危者仍需联合 Caprini 评分、D-二聚体及静脉超声综合判断,可疑病例及时完善影像学检查。后续纳入传统血栓高危因素可进一步提升模型灵敏度。此外本队列 VTE 发生率介于 1.7%~11.7%,Logistic 回归 OR 值易高估真实效应,临床解读血栓风险优先参考队列 RR 值。

本研究存在多方面局限性:其一,本研究为单中心回顾性队列研究,研究设计无法平衡输注速率、血液制品制备工艺、抗纤溶药物使用等未纳入基线的混杂因素,因果关联论证力度有限,相关结论仍有待多中心前瞻性队列研究加以佐证;其二,本研究仅将经影像学证实的症状性静脉血栓栓塞症设定为研究终点,未筛查纳入无症状下肢深静脉血栓病例,可能低估研究人群整体血栓事件发生水平;其三,研究未系统采集手术相关特征、基线凝血功能、原发疾病详细分型等临床信息,存在未测量混杂偏倚,或对部分自变量效应值估算产生干扰;本模型同步纳入红细胞输注剂量、储存时长、输注指征等同源输血相关指标,此类变量源于同一输血记录,理论上存在多重共线性风险。受电子病历数据库调取条件限制,本研究未能完成全部红细胞相关指标的方差膨胀因子定量诊断;研究采用向前逐步回归筛选自变量,并结合临床专业逻辑复核回归系数,可规避重度共线性所致效应值偏移,但无法量化变量间共线性严重程度,一定程度上降低了红细胞相关指标比值比的估算精度。后续前瞻性研究可对同源输血指标进行分层拆分,建模前开展标准化共线性检验,进一步提升回归模型参数稳定性;其四,本模型仅完成内部验证,未开展多中心外部队列验证,模型在不同地域、不同等级医疗机构人群中的外推效能尚不明确;且未开展校准曲线与决策曲线分析,仅依靠曲线下面积、灵敏度、特异度评价模型区分效能,对模型预测校准能力、临床干预净获益的评估存在欠缺,仍需后续前瞻性队列进一步完善验证。

综上,异体输血是住院患者 VTE 的独立危险因素,不同血液成分血栓风险存在明显梯度,以联合输注最高,血浆次之,红细胞与血小板相对较低;红细胞储存时间过长、大量输注、指征不严是可干预的关键危险因素。本研究构建的预测模型校准度与区分度良好,可有效实现输血患者 VTE 风险分层,为精准输血决策与个体化血栓防控提供实用工具。研究结果从风险证实、梯度分析到精准干预形成完整证据链,为我国患者血液管理落地提供可操作的本土化方案,有助于降低住院患者输血相关 VTE 疾病负担。

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 Patient Consent

本研究通过十堰市太和医院伦理委员会批准(伦理号:2025KS184)。本研究获准豁免患者及家属签署知情同意。

作者贡献/Authors' Contribution

曹涛:提出研究思路、设计方案、数据分析、论文撰写与修订;周媛、柯贤婷:数据收集、整理与统计;范金波:研究指导、质量控制、论文审阅。

致谢/Acknowledgment

感谢十堰市太和医院信息中心、输血医学科、VTE 防控办公室对本研究数据收集与整理提供的支持。

[参考文献]

[1] JAFF M R. Venous thromboembolic disease[J]. Ochsner J, 2002, 4(1):6-8.

[2] COHEN A T, AGNELLI G, ANDERSON F A, et al. Venous thromboembolism(VTE) in Europe: the number of VTE events and associated morbidity and mortality [J]. Thromb Haemost, 2007, 98(4):756-764.

[3] RASKOB G E, ANGCHAISUKSIRI P, BLANCO A N, et al. Thrombosis: a major contributor to global disease burden[J]. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 2014, 34(11):2363-2371.

[4] WENDELBOE A M, RASKOB G E. Global burden of thrombosis: epidemiologic aspects[J]. Circ Res, 2016, 118(9):1340-1347.

[5] 院内静脉血栓栓塞症防治指南制定专家组。院内静脉血栓栓塞症防治指南(2022 版)[J]. 中华医学杂志,2022, 102(42):3338-3348.
Guideline Development Expert Group for the Prevention and Treatment of Nosocomial Venous Thromboembolism. Guidelines for the prevention and treatment of nosocomial venous thromboembolism(2022 edition)[J]. Natl Med J China, 2022, 102(42):3338-3348.

[6] HENKE P K, KAHN S R, PANNUCCI C J, et al. Call to action to prevent venous thromboembolism in hospitalized patients: a policy statement from the American Heart Association[J]. Circulation, 2020, 141(24):e914-e931.

[7] World Health Organization. Global status report on blood safety and availability 2021[R]. Geneva: WHO, 2022.

[8] 中华人民共和国国家卫生健康委员会。输血反应分类(WS/T 624-2018)[S]. 北京:中国标准出版社, 2018.
National Health Commission of the People's Republic of China. Classification of transfusion reactions(WS/T 624-2018)[S]. Beijing: China Standards Press, 2018.

[9] LU H, WU F L, LI J J, et al. Irradiated red blood cell transfusion is associated with an increased incidence of deep vein thrombosis in trauma patients: a cohort study [J]. BMC Anesthesiol, 2025, 25(1):400.

[10] GOEL R, PATEL U E, CUSHING M M, et al. Association of perioperative red blood cell transfusions with venous thromboembolism in a North American registry[J]. JAMA Surg, 2018, 153(9):826-833.

[11] KIM B S, RAMAKANTH Y, KAUSHIK R, et al. Red blood cell transfusions and risk of postoperative venous thromboembolism[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2022, 30(13):e883-e891.

[12] LEE B H, YEONJU Y, LEE R S, et al. The risk of venous thrombosis for erythropoiesis stimulating agents and blood transfusions in cancer patients: a nationwide population-based study in Korea[J]. Blood, 2023, 142(Suppl 1):1270.

[13] PANDOR A, TONKINS M, GOODACRE S, et al. Risk assessment models for venous thromboembolism in hospitalised adult patients: a systematic review[J]. BMJ Open, 2021, 11(7):e045672.

[14] YIN Z J, HUANG Y J, CHEN Q L. Risk factor analysis and a new prediction model of venous thromboembolism after pancreaticoduodenectomy[J]. BMC Surg, 2023, 23(1):25.

[15] 全国肺栓塞和深静脉血栓形成防治能力建设项目办公室. 中国静脉血栓栓塞症疾病负担报告(2023)[M]. 北京:中国医药科技出版社,2023.
National Project Office for Capacity Building in Prevention and Treatment of Pulmonary Embolism and Deep Vein Thrombosis. Report on disease burden of venous thromboembolism in China(2023)[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2023.

[16] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 临床用血技术规范(2025 版)[S]. 北京:中国标准出版社,2025.
National Health Commission of the People's Republic of China. Technical specifications for clinical blood use (2025 edition)[S]. Beijing: China Standards Press, 2025.

[17] WANG C, KOU H, LI X, et al. Association between preoperative blood transfusion and postoperative venous thromboembolism: a review and meta-analysis[J]. Ann Vasc Surg, 2021, 73:463-472.

[18] SEDRA S, MALLICK R, NAYAK A L, et al. Venous thromboembolism after blood transfusions in women undergoing hysterectomy for non-malignant indications: a retrospective cohort study[J]. J Obstet Gynaecol Can, 2021, 43(2):167-174.

[19] GOEL R, PLIMIER C, LEE C, et al. Blood donor, component, and recipient-specific factors associated with venous thromboembolism in transfused hospitalized adult patients: data from the Recipient Epidemiology and Donor Evaluation Study-III(REDS-III)[J]. Transfusion, 2023, 63(5):925-932.

[20] 武丽芳,陆华,许桂平. 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[J]. 重庆医学,2024, 53(6):844-849.

(下转第 894 页)

ZHAO T M. RhCEantigen mismatch is the main risk for Chinese transfusion patients[J]. J Clin Transfus Lab Med, 2025, 27(3):289-290.

[12] 尚倩文, 谭斌, 彭卓越, 等. 血液病患者血小板抗体检测及血小板输注疗效评估[J]. 中国输血杂志, 2022,35(10):1023-1027.
SHANG Q W, TAN B, PENG Z Y, et al. Detection of platelet antibody and evaluation of platelet transfusion efficacy in patients with hematologic disease[J]. Chin J Blood Transfusion, 2022,35(10):1023-1027.

[13] 北京医学会输血医学分会,北京医师协会输血专业专家委员会. 输血科门诊建设专家共识(2019)[J]. 中国输血杂志, 2019, 32(11):1093-1096.
Beijing Association of Blood Bank, Expert Committee on Blood Transfusion of Beijing Medical Doctor Association. Expert consensus on clinic establishment of blood transfusion department[J]. Chin J Blood Transfusion, 2019, 32(11):1093-1096.

[14] 王学锋. 中国输血行业发展报告(2025)[M]. 北京:社会科学文献出版社, 2025:307.
WANG X F. Annualreport on China's blood transfusion industry development (2025)[M]. Beijing:Social Sciences Academic Press (China), 2025:307.

(2026-06-25 收稿,07-08 修回,07-14 接收)

本文编辑:闻欣

(上接第 873 页)

WU L F, LU H, XU G P. Effects of blood irradiation on release of erythrocyte microparticles in suspended red blood cells and deep venous thrombosis in trauma patients[J]. Chongqing Med, 2024, 53(6):844-849.

[21] CARSON J L, STANWORTH S J, DENNIS J A, et al. Transfusion thresholds and other strategies for guiding red blood cell transfusion[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2025, 10(10):CD002042.

[22] 陈诚,夏荣. 红细胞储存损伤研究进展[J]. 中国输血杂志,2024, 37(12):1445-1449.
CHEN C, XIA R. Research progress of red blood cell storage lesion[J]. Chin J Blood Transfusion, 2024, 37(12):1445-1449.

[23] KIM Y, GOODMAN D M, JUNG D A, et al. Microparticles from aged packed red blood cell units stimulate pulmonary microthrombus formation via P-selectin[J]. Thromb Res, 2020, 185:160-166.

[24] LO B D, QAYUM O, PENBERTHY K K, et al. Dose-dependent effects of red blood cell transfusion and case mix index on venous thromboembolic events in spine surgery[J]. Vox Sang, 2023, 118(1):76-83.

(2026-04-17 收稿,05-12 修回,05-28 接收)

本文编辑:李宜蔓