

• 论 著 • DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2026.07.020

颅内动脉瘤破裂介入手术后患者贫血的危险因素分析及列线图预测模型构建*

梁 慧,王彩玉,张 琪

上海四一一医院神经医学中心,上海 200000

摘要:目的 探讨颅内动脉瘤破裂介入手术后患者贫血的危险因素,并构建列线图预测模型。方法 选取 2020 年 12 月至 2024 年 12 月该院收治的 302 例颅内动脉瘤破裂患者作为研究对象,根据术后是否发生贫血将所有患者分为贫血组和非贫血组。采用多因素 Logistic 回归分析颅内动脉瘤破裂介入手术后患者贫血的影响因素,基于 Logistic 回归分析结果构建列线图预测模型。绘制校准曲线、受试者工作特征(ROC)曲线、决策曲线分析预测模型的校准度、鉴别度、临床效度。结果 贫血组动脉瘤最大径、系统免疫炎症指数(SII)均大于非贫血组,入院时格拉斯哥昏迷量表(GCS)评分及纤维蛋白原(FIB)水平均低于非贫血组,入院时 Hunt-Hess 分级为 V 级比例及 C 反应蛋白、D-二聚体水平均高于非贫血组,凝血酶原时间、手术时间均长于非贫血组,术中出血量多于非贫血组,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。多因素 Logistic 回归分析结果显示,术中出血量较多、动脉瘤最大径较大、入院时 Hunt-Hess 分级为 V 级、入院时 SII 较大均为颅内动脉瘤破裂介入手术后患者贫血的危险因素($P < 0.05$),FIB 水平升高为颅内动脉瘤破裂介入手术后贫血的保护因素($P < 0.05$)。基于危险因素构建列线图预测模型,ROC 曲线分析结果显示,该预测模型预测颅内动脉瘤破裂介入手术后患者贫血的曲线下面积为 0.860(95%CI:0.834~0.886),灵敏度为 0.805,特异度为 0.769;校准曲线分析结果显示,平均绝对误差为 0.001,预测模型和理想曲线基本一致,校准良好;决策曲线分析结果显示,预测模型临床实用性较高。结论 术中出血量、动脉瘤最大径、Hunt-Hess 分级、SII、FIB 均是影响颅内动脉瘤破裂介入手术后患者贫血的关键因素,基于上述因素构建的预测模型在颅内动脉瘤破裂介入手术后患者贫血预测中具有较高的准确性、鉴别能力及临床实用性。

关键词:颅内动脉瘤破裂; 介入手术; 术后贫血; 列线图; 预测模型

中图法分类号:R651.1;R446.1

文献标志码:A

文章编号:1672-9455(2026)07-0989-07

Analysis of risk factors and construction of nomogram prediction model for anemia in patients with ruptured intracranial aneurysms after interventional therapy*

LIANG Hui, WANG Caiyu, ZHANG Qi

Neuromedical Center, Shanghai 411 Hospital, Shanghai 200000, China

Abstract: Objective To explore the risk factors of anemia in patients with ruptured intracranial aneurysms after interventional surgery, and to construct a nomogram prediction model. **Methods** A total of 302 patients with ruptured intracranial aneurysms admitted to the hospital from December 2020 to December 2024 were selected as the research objects. All patients were divided into anemia group and non-anemia group according to whether anemia occurred after surgery. Multivariate Logistic regression was used to analyze the influencing factors of anemia in patients with ruptured intracranial aneurysms after interventional surgery. Based on the results of Logistic regression analysis, a nomogram prediction model was constructed and verified. The calibration curve, receiver operating characteristic (ROC) curve, and decision curve analysis (DCA) were drawn to evaluate the calibration, discrimination, and clinical validity of the model. **Results** The maximum diameter of aneurysm and systemic immune inflammation index (SII) in the anemia group were larger than those in the non-anemia group, and the Glasgow coma scale (GCS) score and fibrinogen (FIB) level at admission were lower than those in the non-anemia group. The proportion of Hunt-Hess grade V on admission, C reactive protein and D-dimer levels were higher in the anemia group than in the non-anemia group ($P < 0.05$). The prothrombin time and operation time were longer in the anemia group than in the non-anemia group, and

* 基金项目:上海市虹口区科技和经济委员会医学课题(虹卫 2401-08)。

作者简介:梁慧,女,主管护师,主要从事神经内科重症疾病方向的研究。

引用格式:梁慧,王彩玉,张琪. 颅内动脉瘤破裂介入手术后患者贫血的危险因素分析及列线图预测模型构建[J]. 检验医学与临床, 2026, 23(7):989-995.

the intraoperative blood loss was more in the anemia group than in the non-anemia group ($P < 0.05$). Multivariate Logistic regression analysis showed that more intraoperative blood loss, larger maximum diameter of aneurysm, Hunt-Hess grade V at admission, larger SII at admission were all risk factors for anemia in patients after interventional surgery for ruptured intracranial aneurysms ($P < 0.05$), increased FIB level was protective factor for anemia in patients after interventional surgery for ruptured intracranial aneurysms ($P < 0.05$). A nomogram prediction model was constructed based on the risk factors. The results of ROC curve analysis showed that the area under the curve of the prediction model for predicting anemia in patients after interventional surgery for ruptured intracranial aneurysms was 0.860 (95% CI: 0.834–0.886), the sensitivity was 0.805, and the specificity was 0.769. The results of calibration curve analysis showed that the mean absolute error was 0.001, and the prediction model was basically consistent with the ideal curve, which was well calibrated. The results of decision curve analysis showed that the prediction model had high clinical practicability.

Conclusion Intraoperative blood loss, maximum diameter of aneurysm, Hunt-Hess grade, SII and FIB are all the key factors affecting anemia in patients with ruptured intracranial aneurysms after interventional surgery. The prediction model based on the above factors has high accuracy, discrimination ability and clinical practicability in predicting anemia in patients with ruptured intracranial aneurysms after interventional surgery.

Key words: ruptured intracranial aneurysm; interventional surgery; postoperative anemia; nomogram; prediction model

颅内动脉瘤破裂是神经外科领域最具致命性与挑战性的脑血管疾病,该病起病急骤、病情进展迅猛,急性期病死率为 30%~40%^[1]。随着神经介入技术的飞速发展,血管内介入治疗因具有微创、术中创伤小、术后恢复快等优势,已成为颅内动脉瘤破裂的首选治疗方案,明显降低了传统开颅夹闭手术相关并发症的发生风险^[2]。尽管血管内介入和微神经外科夹闭手术治疗取得了重大进展,但术后患者仍然面临诸多并发症问题^[3]。贫血是颅内动脉瘤破裂术后的一种严重并发症,可能减少脑氧输送,加重脑缺血,并增加输血及其相关并发症的发生风险。而颅内动脉瘤破裂患者本身因蛛网膜下腔出血已存在脑血管痉挛、脑灌注压不稳定等问题,贫血的发生会进一步加重脑缺血缺氧,诱发迟发性脑梗死,明显增加患者神经功能恶化的风险^[4]。然而目前研究往往忽视颅内动脉瘤破裂介入手术后贫血,亦缺乏相关报道,鉴于此,本研究通过整合临床相关资料构建列线图预测模型,以量化颅内动脉瘤破裂介入手术后贫血的发生风险,旨在为临床医生术前精准识别高危人群、制订个体化预防策略提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2020 年 12 月至 2024 年 12 月本院收治的 302 例颅内动脉瘤破裂患者作为研究对象。纳入标准:(1)颅脑 CT 血管造影或数字减影血管造影证实存在颅内动脉瘤和脑出血,符合《颅内动脉瘤血管内介入治疗中国专家共识(2013)》^[5]中的相关诊断标准;(2)接受支架辅助弹簧栓塞介入手术治疗;(3)符合介入手术治疗适应证;(4)年龄 > 18 岁。排除标准:(1)存在外伤、血管畸形或其他非动脉瘤性脑出血;(2)入院后 24 h 内死亡;(3)未发生破裂的颅内动脉瘤患者;(4)临床资料缺失;(5)入院前存在大出血

病史或慢性贫血病史。所有研究对象均知情同意并签署知情同意书。本研究经本院医学伦理委员会审核批准(S202003198-01)。

1.2 介入手术后贫血判定标准及分组 介入手术后 1、3、7、14 d 及出院时检测所有患者血红蛋白(Hb)水平,男性患者 Hb < 120 g/L,女性患者 Hb < 110 g/L 判定为贫血^[6]。将贫血患者归入贫血组,非贫血患者归入非贫血组。

1.3 基线资料收集 通过电子病历系统收集所有患者年龄、性别、体质指数(BMI)、吸烟史、饮酒史、基础疾病(高血压、糖尿病、高脂血症)、心脑血管疾病(心肌梗死、心绞痛、心房颤动、缺血性脑卒中)、动脉瘤位置、动脉瘤最大径、入院时格拉斯哥昏迷量表(GCS)评分^[7]、入院时 Hunt-Hess 分级^[8]、手术时间、术中出血量、动脉瘤栓塞 Raymond 分级^[9](I 级:完全栓塞;II 级:瘤颈显影;III 级:瘤腔显影)、支架类型、置入支架数量、入院时检测指标[包括 Hb、白细胞计数、C 反应蛋白、国际标准化比值(INR)、凝血酶原时间、纤维蛋白原(FIB)、D-二聚体、空腹血糖(FBG)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、尿酸(UA)、丙氨酸转氨酶(ALT)、天冬氨酸转氨酶(AST)、碱性磷酸酶、肌酐、系统免疫炎症指数(SII)]等基线资料。SII = 血小板计数 × 中性粒细胞计数 / 淋巴细胞计数^[10]。术中出血量为引流瓶中液体量减去术中冲洗量再加上纱块血垫称量的增加净重。

1.4 统计学处理 采用 SPSS29.0 统计软件进行数据分析处理。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2 组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料以例数或百分率表示,组间比较采用 χ^2 检验,等级资料比较采用秩和检验。采用多因素 Logistic 回归分析颅内动脉瘤破裂介入手术后患者贫血的影响因素。基于

多因素 Logistic 回归分析结果构建列线图预测模型, 绘制校准曲线、受试者工作特征(ROC)曲线、决策曲线分析预测模型的校准度、鉴别度、临床效度。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 贫血组和非贫血组基线资料比较 贫血组 103 例, 非贫血组 199 例。贫血组动脉瘤最大径、SII 均大于非贫血组, 入院时 GCS 评分及 FIB 水平均低于非贫血组, 入院时 Hunt-Hess 分级为 V 级比例及 C 反应蛋白、D-二聚体水平均高于非贫血组, 凝血酶原时间、手术时间均长于非贫血组, 术中出血量多于非贫血组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 贫血组和非贫血组年龄、性别、BMI、吸烟史、饮酒史、基础疾病等其

他基线资料比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 1。

2.2 颅内动脉瘤破裂介入手术后患者贫血的影响因素 以颅内动脉瘤破裂介入手术后是否贫血(是=1, 否=0)作为因变量, 采用逐步后退法排除无关变量后最终以术中出血量(实测值)、动脉瘤最大径(实测值)、入院时 Hunt-Hess 分级(Ⅳ级=0, Ⅴ级=1)、入院时 SII(实测值)、FIB(实测值)作为自变量, 进行多因素 Logistic 回归分析。结果显示, 术中出血量较多、动脉瘤最大径较大、入院时 Hunt-Hess 分级为Ⅴ级、入院时 SII 较大均为颅内动脉瘤破裂介入手术后贫血的危险因素 ($P < 0.05$), FIB 水平升高为颅内动脉瘤破裂介入手术后贫血的保护因素 ($P < 0.05$)。见表 2。

表 1 贫血组和非贫血组基线资料比较 [$\bar{x} \pm s$ 或 $n(\%)$]

组别	n	年龄(岁)		性别		BMI(kg/m ²)	吸烟史	
				男	女		有	无
贫血组	103	60.43±10.32		68(66.02)	35(33.98)	23.12±2.15	62(60.19)	41(39.81)
非贫血组	199	60.19±9.89		128(64.32)	71(35.68)	23.05±2.12	115(57.79)	84(42.21)
t/χ ² /Z		0.197		0.086		0.271	0.162	
P		0.844		0.769		0.787	0.687	

组别	n	饮酒史		高血压		糖尿病		高脂血症	
		有	无	有	无	有	无	有	无
贫血组	103	53(51.46)	50(48.54)	72(69.90)	31(30.10)	66(64.08)	37(35.92)	59(57.28)	44(42.72)
非贫血组	199	96(48.24)	103(51.76)	132(66.33)	67(33.67)	116(58.29)	83(41.71)	110(55.28)	89(44.72)
t/χ ² /Z		0.281		0.395		0.949		0.111	
P		0.596		0.530		0.330		0.739	

组别	n	心肌梗死		心绞痛		心房颤动		缺血性脑卒中	
		有	无	有	无	有	无	有	无
贫血组	103	23(22.33)	80(77.67)	19(18.45)	84(81.55)	20(19.42)	83(80.58)	17(16.50)	86(83.50)
非贫血组	199	42(21.11)	157(78.89)	33(16.58)	166(83.42)	35(17.59)	164(82.41)	28(14.07)	171(85.93)
t/χ ² /Z		0.060		0.165		0.153		0.317	
P		0.806		0.684		0.696		0.573	

组别	n	动脉瘤位置				动脉瘤最大径(mm)	入院时 GCS 评分(分)
		颈内动脉	前交通动脉	大脑中动脉	其他		
贫血组	103	50(48.54)	26(25.24)	22(21.36)	5(4.85)	12.75±2.14	9.32±1.26
非贫血组	199	95(47.74)	53(26.63)	44(22.11)	7(3.52)	9.61±2.09	10.47±1.63
t/χ ² /Z		0.382				12.277	-6.256
P		0.944				<0.001	<0.001

组别	n	入院时 Hunt-Hess 分级		动脉瘤栓塞 Raymond 分级			手术时间(min)
		Ⅳ级	Ⅴ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	
贫血组	103	42(40.78)	61(59.22)	59(57.28)	27(26.21)	17(16.50)	75.32±19.16
非贫血组	199	129(64.82)	70(35.18)	124(62.31)	46(23.12)	29(14.57)	68.65±17.74
t/χ ² /Z		4.014		0.994			3.013
P		<0.001		0.320			0.003

续表 1 贫血组和非贫血组基线资料比较[$\bar{x} \pm s$ 或 $n(\%)$]

组别	n	支架类型			置入支架数量(个)		
		颅内自膨编织支架	颅内自膨闭环支架	颅内可回收自膨支架	1	2	3
贫血组	103	77(74.76)	14(13.59)	12(11.65)	53(51.46)	27(26.21)	23(22.33)
非贫血组	199	150(75.38)	31(15.58)	18(9.05)	112(56.28)	47(23.62)	40(20.10)
$t/\chi^2/Z$			0.647			0.851	
P			0.724			0.395	

组别	n	术中出血量 (mL)	白细胞计数 ($\times 10^9/L$)	FBG (mmol/L)	UA ($\mu\text{mol/L}$)	TC (mmol/L)	TG (mmol/L)
贫血组	103	450.32±50.49	10.42±2.23	6.12±2.01	319.02±30.17	5.65±0.81	1.91±0.26
非贫血组	199	365.19±60.37	10.03±2.21	6.09±1.92	316.98±28.52	5.55±0.83	1.89±0.23
$t/\chi^2/Z$		12.261	1.449	0.127	0.578	1.001	0.685
P		<0.001	0.148	0.899	0.564	0.318	0.494

组别	n	Hb (g/L)	C 反应蛋白 (mg/L)	INR	凝血酶原时间 (s)	FIB(g/L)	D-二聚体 (mg/L)
贫血组	103	117.35±5.16	13.02±2.41	1.76±0.21	14.51±1.60	2.72±0.33	0.64±0.18
非贫血组	199	116.21±5.03	11.25±1.97	1.72±0.20	13.96±1.53	3.61±0.45	0.55±0.16
$t/\chi^2/Z$		1.851	6.847	1.620	2.915	-17.748	4.438
P		0.065	<0.001	0.106	0.004	<0.001	<0.001

组别	n	ALT(U/L)	AST(U/L)	碱性磷酸酶(U/L)	血肌酐($\mu\text{mol/L}$)	SII
贫血组	103	43.26±5.16	39.65±4.28	113.02±12.45	86.35±11.42	387.16±46.92
非贫血组	199	43.02±5.07	39.12±4.13	110.35±11.69	85.19±12.03	315.21±30.06
$t/\chi^2/Z$		0.388	1.044	1.840	0.808	16.163
P		0.699	0.297	0.067	0.420	<0.001

2.3 列线图预测模型构建 构建术中出血量、动脉瘤最大径、入院时 Hunt-Hess 分级、入院时 SII、FIB 水平联合预测的 Logistic 回归模型： $7.352 + 1.423X_{\text{术中出血量}} + 0.935X_{\text{动脉瘤最大径}} + 0.632X_{\text{入院时 Hunt-Hess 分级}} + 0.411X_{\text{入院时}}$

$SII - 0.371X_{\text{FIB}}$ ，每个危险因素对应分值之和对应的概率为颅内动脉瘤破裂患者术后贫血的风险预测值，总分越高风险越高。见图 1。

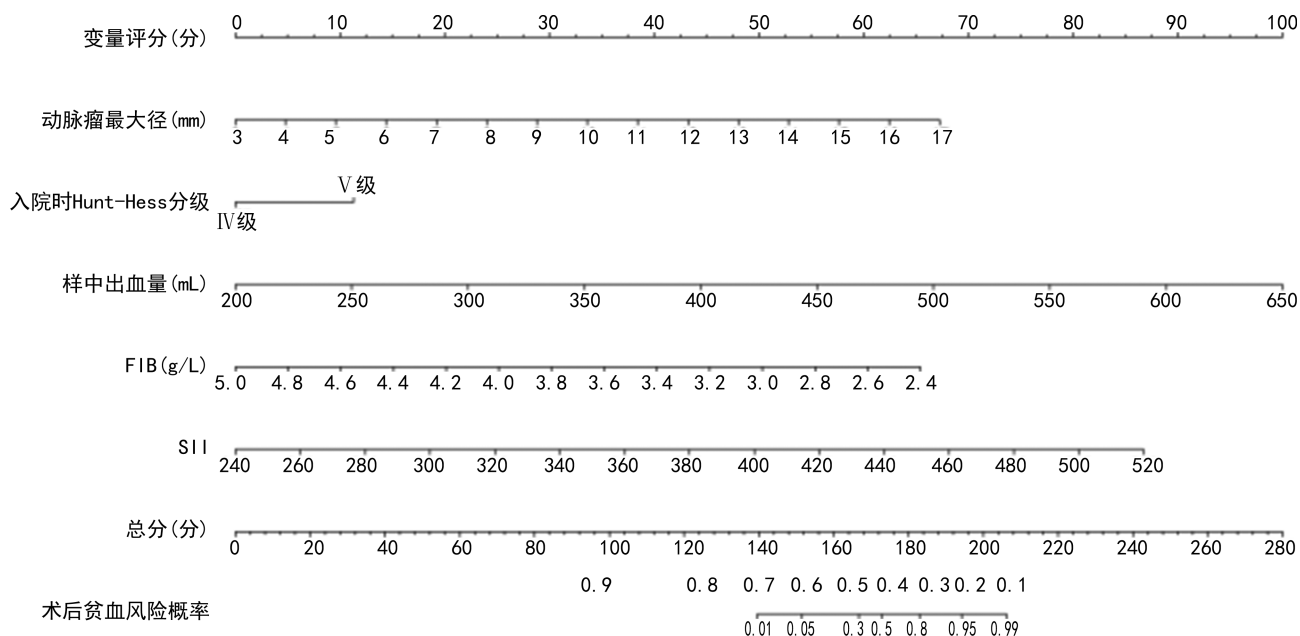


图 1 颅内动脉瘤破裂患者术后贫血的列线图预测模型

表 2 颅内动脉瘤破裂介入手术后贫血的影响因素

因素	β	SE	Wald χ^2	OR(95%CI)	P
常数项	7.352	2.986	6.062	—	<0.001
术中出血量	1.423	0.428	11.054	4.150(1.793~9.601)	<0.001
动脉瘤最大径	0.935	0.377	6.150	2.547(1.217~5.333)	<0.001
入院时 Hunt-Hess 分级	0.632	0.302	4.379	1.881(1.041~3.400)	0.005
入院时 SII	0.411	0.169	5.914	1.508(1.083~2.101)	0.001
FIB	-0.371	0.177	4.393	0.690(0.526~0.904)	0.004

注：—表示无数据。

2.4 预测模型验证 校准曲线分析结果显示,平均绝对误差为 0.001,预测模型和理想曲线基本一致,校准良好,见图 2。ROC 曲线分析结果显示,列线图模型预测颅内动脉瘤患者介入手术后贫血的曲线下面积为 0.860(95%CI:0.834~0.886, $P<0.05$),灵敏度为 0.805,特异度为 0.769,提示该预测模型预测性能优异。DCA 曲线分析结果显示,预测模型临床适用性较高,见图 3。

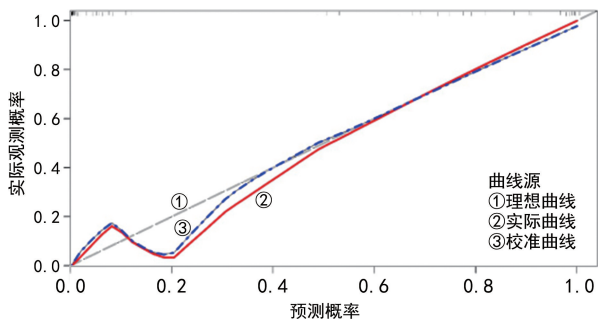


图 2 预测模型的校准曲线

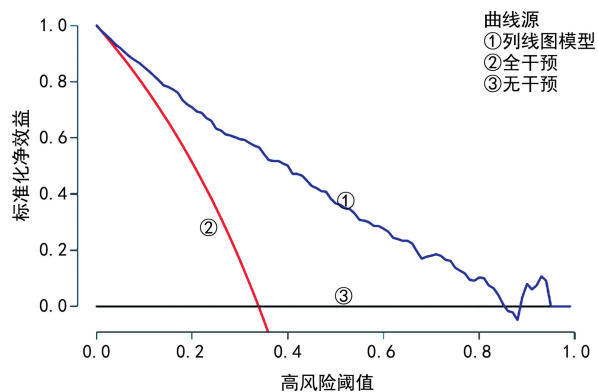


图 3 预测模型的 DCA 曲线

3 讨论

颅内动脉瘤破裂是最严重的脑卒中形式之一,往往伴有严重的神经系统后遗症和高病死率^[11-13]。颅内动脉瘤破裂术后贫血是多因素导致的结果,首先,贫血可能与疾病和手术治疗引起的失血有关,介入手术操作(如支架置入、弹簧圈栓塞)可引起血管损伤、动脉瘤再破裂,导致急性失血,动脉瘤栓塞不完全或术中抗凝药物治疗也会使术后隐性出血风险增加。其次,颅内动脉瘤破裂后红细胞破坏释放铁,铁被单

核-吞噬系统吞噬,加之术后全身炎症反应上调铁调素,抑制肠道对铁的吸收,导致造血原料不足,易引起贫血^[14]。另外,术后禁食、高代谢状态及消化道功能紊乱,导致蛋白质、维生素 B₁₂、叶酸缺乏,也可能引起贫血^[15]。贫血会增加心脏相关发病率和病死率,并降低红细胞的携氧能力,从而导致继发性脑损伤,输血虽然可以增强脑氧合和增加脑灌注,但同时伴随较大的并发症发生风险^[16]。本研究为颅内动脉瘤破裂患者开发并验证了一种列线图预测模型,可用于预测术后贫血的发生风险,关键因素是术中出血量较多、动脉瘤最大径较大、入院时高 Hunt-Hess 分级为 V 级、入院时 SII 较大、FIB 水平较低。

术中出血过多是引起术后贫血的主要原因,复杂的介入手术操作过程中组织剥离可引起毛细血管床弥漫性渗血,若伤及较大血管则能引起急性失血,如果出血量超过骨髓代偿极限,即可引起贫血^[17]。根据人体血容量和血液稀释原理,依据公式 $\Delta\text{Hb}(\text{g/dL}) = (\text{失血量} \times \text{术前 Hb}) / \text{血容量}$ 计算可知,围术期失血每增加 100 mL,术后 Hb 下降约 0.8 g/dL(即 8 g/L)^[18],由此可见,术中失血量与术后贫血发生风险呈负相关。本研究贫血组术中失血量明显多于非贫血组,表明术中出血过多可能直接导致术后贫血发生,根据术中出血量可推测术后 Hb 下降程度及贫血的发生风险,建议术中应用目标导向液体治疗,减少不必要的血液稀释,必要时开展自体血回输或异体输血,以防止贫血发生。

本研究贫血组动脉瘤最大径明显大于非贫血组,说明较大的颅内动脉瘤患者术后发生贫血的可能性越大。随着颅内动脉瘤最大径增大,瘤壁平滑肌细胞和弹力纤维在瘤体扩张过程中逐渐被拉伸和分散,导致瘤壁变薄和强度降低,术中受器械操作和血压波动等刺激时,出血往往较多。最大径较大的动脉瘤使血流在瘤腔内形成较大的漩涡,对瘤壁的冲击力也明显增强,术中操作时瞬间的压力变化也可能引起大量出血^[19]。其次,较大的颅内动脉瘤对周围组织压迫更明显,还可能侵蚀周围血管,周围组织和血管因压迫而变得脆弱,止血难度也相应增加^[20],导致出血难以控制,出血量增多。另外,较大的颅内动脉瘤手术难度

大,手术时间长,随着手术时间延长,出血累积量也会增多。

Hunt-Hess 分级是评估颅内动脉瘤破裂后病情严重程度的常用方法,主要依靠意识状态、神经功能缺损等症状来判定,而症状与颅内出血的量、部位及颅内压变化均密切相关^[21-22]。本研究贫血组 Hunt-Hess 分级为 V 级比例高于非贫血组,说明 Hunt-Hess 分级越高,术后发生贫血的风险也越高。Hunt-Hess 分级越高表明颅内大量出血,脑组织广泛受损及颅内压急剧升高。因此,Hunt-Hess 分级能间接反映颅内动脉瘤破裂出血的严重程度。当出血量较多时,超过机体代偿能力,会导致外周血中红细胞、Hb 等携氧物质减少,从而引发贫血。

炎症过程会破坏机体产生和调节红细胞的正常机制,导致各类贫血发生^[23]。SII 作为局部或整体免疫炎症反应的稳定、准确指标,在贫血组明显增大,表明较大的 SII 能提示颅内动脉瘤破裂患者术后贫血的可能。颅内动脉瘤破裂出血后,血中 Hb、红细胞膜等作为外源性异物激活免疫系统,巨噬细胞、中性粒细胞被激活并释放炎症介质,引发炎症级联反应^[24],导致 SII 增大。SII 越大表明炎症反应越重,炎症状态下,巨噬细胞激活释放炎症细胞因子,刺激肝脏合成铁调素增加,铁调素促使铁转运蛋白降解,抑制肠道对铁的吸收,同时阻碍巨噬细胞内铁的释放,无法被骨髓利用,导致铁利用障碍性贫血^[25]。炎症介质可改变肠道黏膜的微环境,影响铁吸收相关蛋白的表达和功能,进一步减少铁的摄入,加重贫血^[26]。CHEN 等^[27]研究表明,较大的 SII 与贫血的可能性增加相关。

凝血-纤溶失衡偏向于纤溶亢进时,纤维蛋白被过度降解,可导致广泛出血,FIB 消耗提示纤溶系统激活,与出血性疾病有关^[28]。本研究发现,较低的 FIB 水平可能增加颅内动脉瘤破裂患者术后贫血的发生风险。分析原因为:手术创伤损伤血管内皮细胞,释放组织型纤溶酶原激活物(t-PA),t-PA 是纤溶系统激活的关键启动因子,能特异性地与纤维蛋白结合,增强纤溶活性,纤溶酶原过度激活导致 FIB 大量消耗,纤维蛋白降解产物升高,进一步破坏血小板聚集功能^[29],引发出血和失血性贫血。另外,手术创伤作为一种强烈的应激源,会引起机体强烈的应激和炎症反应,影响凝血-纤溶平衡,激活纤溶系统^[30],纤溶亢进溶解微血栓的同时损伤血管内皮,导致毛细血管脆性增加,红细胞外渗、出血,继而增加贫血的发生风险。

基于术中出血量、动脉瘤最大径、入院时 Hunt-Hess 分级、入院时 SII、FIB 构建列线图预测模型,经验证该模型拟合度良好,校准度和临床实用性高,能

较好地预测颅内动脉瘤破裂患者介入手术后贫血的发生风险。

综上所述,术中出血量较多、动脉瘤最大径较大、入院时 Hunt-Hess 分级为 V 级、入院时 SII 较大、FIB 水平较低均是颅内动脉瘤破裂患者介入手术后发生贫血的危险因素。基于术中出血量、动脉瘤最大径、入院时 Hunt-Hess 分级、入院时 SII、FIB 构建预测模型可计算个体化贫血发生风险,在颅内动脉瘤破裂患者介入手术后贫血预测中具有较高的准确率,能为临床医生提供有价值的信息和临床证据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献 梁慧:检索文献、分析数据、研究设计及文章构思、撰写;王彩玉、张琪:文章的知识性内容作批评性审阅、指导、质量控制及审核。

参考文献

- [1] 张潇潇,刘海洋,何颖,等. 颅内动脉瘤介入栓塞术中动脉瘤破裂的围手术期麻醉管理[J]. 国际麻醉学与复苏杂志,2024,45(4):361-365.
- [2] 谢益强,江河利,潘康乐,等. 颅内动脉瘤定量计算机断层扫描血管成像联合 Graeb 评分对颅内动脉瘤破裂出血的预后价值分析[J]. 中国临床医生杂志,2024,52(8):996-998.
- [3] 陈华明,许智星,吴津. 不同时机行血管内介入栓塞治疗对老年颅内动脉瘤破裂出血患者预后的影响[J]. 中华老年心脑血管病杂志,2023,25(12):1315-1318.
- [4] SINGH N, SACHDEV S, REGMI S, et al. Effect of peri-operative blood transfusion on neurological outcome following aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a prospective observational study [J]. *Neurol India*, 2024, 72(1): 58-63.
- [5] 中华医学会神经外科学分会神经介入学组. 颅内动脉瘤血管内介入治疗中国专家共识(2013)[J]. 中国脑血管病杂志, 2013, 10(11): 606-616.
- [6] 付蓉,江汇涓. 常见贫血临床诊断流程[J]. 中国实用内科杂志, 2015, 35(8): 691-695.
- [7] TEASDALE G, JENNETT B. Assessment of Coma and impaired consciousness. A practical scale[J]. *Lancet*, 1974, 2(7872): 81-84.
- [8] 王玉社,王勇,陈航,等. 蛛网膜下腔出血患者 Hunt-Hess 分级与血清脑钠肽的关系[J]. 中华实验外科杂志, 2016, 33(9): 2129-2131.
- [9] STAPLETON C J, TOROK C M, RABINOV J D, et al. Validation of the Modified Raymond-Roy Classification for intracranial aneurysms treated with coil embolization[J]. *J Neurointerv*

- Surg, 2016, 8(9):927-933.
- [10] HU B, YANG X R, XU Y, et al. Systemic immune-inflammation index predicts prognosis of patients after curative resection for hepatocellular carcinoma[J]. Clin Cancer Res, 2014, 20(23):6212-6222.
- [11] STRATILOVÁ M H, KOBLÍŽEK M, ŠTEKLÁČOVÁ A, et al. Increased macrophage M2/M1 ratio is associated with intracranial aneurysm rupture[J]. Acta Neurochir, 2023, 165(1):177-186.
- [12] DING L, CAO W, MEI Z, et al. Causal relationship between 179 plasma lipids and intracranial aneurysm: a 2-sample Mendelian randomization study[J]. Medicine(Baltimore), 2025, 104(38):e44253.
- [13] 厉进辉, 朱孟超, 孙文华. 血管介入栓塞治疗时机对颅内动脉瘤破裂患者并发症及神经功能的影响[J/CD]. 临床医药文献电子杂志, 2021, 8(11):17-19.
- [14] GALEA I, DURNFORD A, GLAZIER J, et al. Iron deposition in the brain after aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. Stroke, 2022, 53(5):1633-1642.
- [15] NAIK S, NIRALE A, BHARADWAJ S, et al. Post-operative anemia in children undergoing elective neurosurgery: an analysis of incidence, risk factors, and outcomes[J]. J Neurosci Rural Pract, 2024, 15(1):29-33.
- [16] 张秀芳, 程卫, 高路, 等. 肾性贫血与维持性血液透析并发心血管并发症的临床关系探讨[J]. 中国中西医结合肾病杂志, 2024, 25(12):1101-1103.
- [17] 中华医学会外科学分会, 中华外科杂志编辑委员会. 普通外科围手术期缺铁性贫血管理多学科专家共识[J]. 中华外科杂志, 2020, 58(4):252-256.
- [18] MUELLER M M, VAN REMOORTEL H, MEYBOHM P, et al. Patient blood management: recommendations from the 2018 Frankfurt consensus conference [J]. JAMA, 2019, 321(10):983-997.
- [19] 张学敬, 韩思勤, 杨磊. 临床少见大脑动脉瘤及其动脉分叉的形态学特点[J]. 介入放射学杂志, 2024, 33(2):182-186.
- [20] 姜玲, 姚慧娟, 王超超, 等. Pipeline 栓塞装置与支架辅助弹簧圈栓塞治疗大型脑动脉瘤的临床疗效比较[J]. 医学临床研究, 2024, 41(4):594-597.
- [21] LEI C, FU A, LI B, et al. Construction of a poor prognosis prediction and visualization system for intracranial aneurysm endovascular intervention treatment based on an improved machine learning model[J]. Front Neurol, 2025, 15:1482119.
- [22] LIU B, LIU P, GUO Y, et al. Ruptured intracranial aneurysm with spontaneous occlusion of internal carotid artery: clinical characteristics, prognostic risk factors, and survival analysis [J]. BMC Neurol, 2025, 25(1):323.
- [23] 汪丹, 谢杨, 刘建会. 贫血相关指标、铁代谢指标及炎症指标与铁调素的相关性分析[J]. 临床和实验医学杂志, 2023, 22(14):1496-1499.
- [24] 姜兵, 张伟. 基于 CTA 形态学及血液炎症指标分析大脑中动脉动脉瘤破裂的风险因素[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2024, 30(1):17-21.
- [25] PARHAM E, AHMAD M, FALASCA M. Haematological manifestations of SARS-CoV-2: insights into erythropoiesis, hepcidin regulation, and cytokine storm[J]. Int J Mol Sci, 2025, 26(3):874.
- [26] 王一浩, 付蓉, 邵宗鸿. 炎症性贫血诊治新进展[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(24):1946-1948.
- [27] CHEN S, XIAO J, CAI W, et al. Association of the systemic immune-inflammation index with anemia: a population-based study[J]. Front Immunol, 2024, 15:1391573.
- [28] 肖夏, 董爱勤. 缺血性脑血管病伴脑微出血患者与凝血和纤溶指标相关性治疗研究[J]. 脑与神经疾病杂志, 2023, 31(5):328-330.
- [29] 贾托, 贺世集, 祁学强. 创伤骨科患者围术期凝血指标及纤溶活性指标的检测意义[J]. 血栓与止血学, 2020, 26(5):835-836.
- [30] 段婉莹, 刘丽萍, 杨中华, 等. 动脉瘤性蛛网膜下腔出血后迟发性脑缺血的早期凝血及纤溶生物标志物变化[J]. 中国脑血管病杂志, 2020, 17(1):17-25.