

# 术前眼内压对玻璃体切割术后继发性青光眼的的影响及阈值效应分析

尹娟<sup>1</sup>, 程彦彦<sup>1</sup>, 张丹<sup>1</sup>, 王红芳<sup>1</sup>, 高艺<sup>1</sup>, 严肖啸<sup>2</sup>

<sup>1</sup>河北省眼科医院青光眼科, 河北邢台 054001; <sup>2</sup>邯郸市中心医院眼科, 河北邯郸 056001

[中图分类号] R779.6 [文献标志码] A [DOI] 10.11855/j.issn.0577-7402.0594.2025.0730

[声明] 本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文] 尹娟, 程彦彦, 张丹, 等. 术前眼内压对玻璃体切割术后继发性青光眼的的影响及阈值效应分析[J]. 解放军医学杂志, 2025, 50(10): 1290-1297.

[收稿日期] 2025-03-31 [录用日期] 2025-04-29 [上线日期] 2025-07-30

**[摘要]** **目的** 探究术前眼内压(IOP)对玻璃体切割术(PPV)后继发性青光眼(SG)的影响及阈值效应。**方法** 回顾性分析2020年1月—2024年1月于河北省眼科医院经PPV治疗后发生SG的88例视网膜脱离患者(SG组),并按1:1比例选取同期在该院接受PPV治疗且术后未出现SG的88例视网膜脱离患者为非SG组。采用单因素分析对比两组临床资料的差异;分层回归模型分析术后特征与术前IOP水平的相关性;多因素logistic回归分析PPV术后发生SG的影响因素,并对参数进行多重共线性诊断及敏感性分析;分析患者术前IOP与术后SG发生风险的阈值效应。基于多因素logistic回归分析结果构建预测模型,采用受试者操作特征(ROC)曲线评估预测模型的效能和准确度,校准曲线、临床决策曲线评估预测模型与实际情况的一致性和模型的临床实用性。**结果** 与非SG组比较,SG组患者糖尿病史、青光眼家族史、术前IOP、术后房角状态(关闭)、硅油填充时间 $\geq 6$ 个月、硅油乳化的比例增多( $P < 0.05$ )。术后房角状态(关闭)与术前IOP水平呈明显正相关( $P < 0.05$ )。多因素logistic回归分析结果显示,糖尿病史、青光眼家族史、硅油乳化、术后房角关闭、硅油填充时间 $\geq 6$ 个月、术前IOP $\geq 21$  mmHg为PPV术后发生SG的独立危险因素( $P < 0.05$ )。多重共线性诊断结果显示,上述各变量间无明显共线性;敏感性分析显示,当 $E=5.014$ 时,能使变量间的关联趋于无效。随着术前IOP的升高,患者PPV术后发生SG的概率呈上升趋势;阈值效应显示,当术前IOP $\geq 19$  mmHg时,PPV术后发生SG的概率随术前IOP升高而明显上升[OR=2.942(95%CI 1.794-4.826),  $P < 0.001$ ]。校正协变量后,术前IOP仍是PPV术后发生不同程度SG的影响因素[OR=7.392(95%CI 1.379-12.510),  $P=0.001$ ]。验证前后模型预测PPV术后发生SG的ROC曲线下面积(AUC)分别为0.987(95%CI 0.974-1.000,  $P < 0.001$ )和0.989(95%CI 0.969-1.000,  $P < 0.001$ ),敏感度分别为0.9332、0.9545,特异度分别为0.9981、0.9773;校准曲线和决策曲线均显示预测模型具有较好的区分度和准确度。**结论** 术前IOP是视网膜脱离患者PPV术后发生SG的影响因素和敏感指标。

**[关键词]** 术前眼内压;玻璃体切割术;继发性青光眼;阈值效应;预测价值

## The influence and threshold effect of preoperative intraocular pressure on secondary glaucoma after pars plana vitrectomy

Yin Juan<sup>1</sup>, Cheng Yan-Yan<sup>1</sup>, Zhang Dan<sup>1</sup>, Wang Hong-Fang<sup>1</sup>, Gao Yi<sup>1</sup>, Yan Xiao-Xiao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Glaucoma, Hebei Eye Hospital, Xingtai, Hebei 054001, China

<sup>2</sup>Department of Ophthalmology, Handan Central Hospital, Handan, Hebei 056001, China

This work was supported by the Self-Financed Project of Key Research and Development Program of Xingtai (2025ZC047)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the influence and threshold effect of preoperative intraocular pressure (IOP) on secondary glaucoma (SG) after pars plana vitrectomy (PPV). **Methods** A retrospective analysis was conducted on 88 patients with retinal detachment who developed SG after PPV (SG group) treatment at Hebei Eye Hospital from January 2020 to January 2024. Meanwhile, 88 patients with retinal detachment who underwent PPV at the same hospital during the same period but did not develop

**[基金项目]** 邢台市重点研发计划自筹项目(2025ZC047)

**[作者简介]** 尹娟,主要从事青光眼方面的研究

SG postoperatively were selected as non-SG group in a 1:1 ratio. Univariate analysis was used to compare the differences in clinical data between the two groups. A stratified regression model was applied to analyze the correlation between postoperative characteristics and preoperative IOP. Multivariate logistic regression analysis was used to identify the factors affecting the occurrence of SG after PPV, with multicollinearity diagnosis and sensitivity analysis performed for the parameters. Additionally, the threshold effect of preoperative IOP on the risk of postoperative SG was analyzed. A predictive model was constructed based on the results of multivariate logistic regression. The receiver operating characteristic (ROC) curve was employed to evaluate the efficacy and accuracy of the predictive model, while the calibration curve and clinical decision curve were utilized to assess the consistency between the predictive model and actual conditions as well as the clinical practicality of the model. **Results** Compared with non-SG group, SG group had a higher proportion of patients with a history of diabetes, family history of glaucoma, a higher preoperative IOP, higher proportion of postoperative closed anterior chamber angle status, longer silicone oil tamponade duration ( $\geq 6$  months), higher incidence of silicone oil emulsification ( $P < 0.05$ ). Postoperative anterior chamber angle status (closed) was significantly positively correlated with preoperative IOP levels ( $P < 0.05$ ). Multivariate logistic regression analysis showed that history of diabetes, family history of glaucoma, silicone oil emulsification, postoperative anterior chamber angle closure, silicone oil tamponade duration  $\geq 6$  months, and preoperative IOP  $\geq 21$  mmHg were independent risk factors for SG after PPV ( $P < 0.05$ ). Multicollinearity diagnosis indicated no significant collinearity among the above variables. Sensitivity analysis showed that the association tended to be null when  $E = 5.014$ . With the increase of preoperative IOP, the probability of SG after PPV in patients showed an upward trend. The threshold effect analysis revealed that when preoperative IOP  $\geq 19$  mmHg, the probability of SG after PPV increased significantly with the elevation of preoperative IOP ( $OR = 2.942$ , 95%CI 1.794-4.826,  $P < 0.001$ ). After adjusting for covariates, preoperative IOP remained an independent influencing factor for different degrees of SG after PPV ( $OR = 7.392$ , 95%CI 1.379-12.510,  $P = 0.001$ ). Before and after validation, the area under the ROC curves (AUCs) of the model for predicting SG after PPV were 0.987 (95%CI 0.974-1.000,  $P < 0.001$ ) and 0.989 (95%CI 0.969-1.000,  $P < 0.001$ ), with sensitivities of 0.9332 and 0.9545, and specificities of 0.9981 and 0.9773, respectively. Both the calibration curve and decision curve analysis demonstrated that the predictive model had good discrimination and accuracy. **Conclusion** Preoperative IOP is an influencing factor and a sensitive indicator for the development of SG after PPV in patients with retinal detachment.

**[Key words]** preoperative intraocular pressure; pars plana vitrectomy; secondary glaucoma; threshold effect; predictive value

视网膜脱离是由于神经上皮层与色素上皮层发生分离所致，是一种对视力构成严重威胁的眼科疾病，具有致盲性<sup>[1-2]</sup>；而玻璃体切割术(pars plana vitrectomy, PPV)是视网膜脱离的常用治疗手段<sup>[3]</sup>，术后效果及并发症管理一直是临床实践与研究关注的重点<sup>[4-5]</sup>。继发性青光眼(secondary glaucoma, SG)作为PPV术后较常见的并发症，不仅严重影响视觉功能恢复，还可能进一步加剧眼部损害，降低患者的生活质量<sup>[6]</sup>。眼内压(intraocular pressure, IOP)是反映眼部生理状态的重要参数<sup>[7]</sup>，其水平高低与眼结构、功能状态及PPV手术预后存在密切关联<sup>[8]</sup>；而IOP升高也是青光眼发病的危险因素之一，高IOP水平会对视神经造成压迫，进而影响视神经的正常功能<sup>[9-10]</sup>。当前，关于PPV术后发生SG的IOP监测与研究多聚焦于术后阶段，而对于术前IOP的监测与研究较少。本研究探讨术前IOP对PPV术后SG发生的影响，并尝试确定术前IOP的阈值，以期术前评估PPV术后发生SG的风险，旨在为患者制定个性化手术方案，以及合理的术后监测和管理策略提供参考。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象** 回顾性选取2020年1月—2024年1月于河北省眼科医院经PPV术治疗后发生SG的88例视

网膜脱离患者，将其纳入SG组；同时，按1:1的比例选取同期在该院接受PPV手术治疗且术后未出现SG的88例视网膜脱离患者为非SG组。176例患者中，男89例，女87例，年龄41~69(55.1 $\pm$ 6.1)岁。纳入标准：(1)接受PPV手术，术中行视网膜修复时均使用硅油填充；(2)年龄18~70岁；(3)SG诊断符合文献[11-12]的标准，使用3种或以上抗青光眼药物后，IOP持续 $> 21$  mmHg，或术后IOP较术前超过10 mmHg；(4)术前均行24 h IOP监测、视野检查、房角镜检查、超声角膜测厚仪测量角膜厚度，且临床资料完整；(5)随访截止前未发生SG的患者均行硅油取出术。排除标准：(1)存在恶性肿瘤、器官功能障碍、免疫系统疾病或急慢性感染等任一疾病；(2)术前存在原发性青光眼或SG；(3)出院后拒绝随访或随访期间失联。本研究获河北省眼科医院医学伦理委员会审批(2023KY24)。

## 1.2 方法

**1.2.1 临床资料收集** 收集并比较两组患者的临床资料信息，包括性别、年龄、患侧、病程、糖尿病史、青光眼家族史、既往眼科手术史、术前IOP。记录患者PPV术后至出院前的术后房角状态，以及术后玻璃体出血、前房积血、瞳孔阻滞、感染的发生情况。于随访过程中，记录患者硅油填充时间、

硅油乳化情况、糖皮质激素使用时间。

**1.2.2 SG严重程度判断标准** SG严重程度按照相关文献[13]中的标准,分为轻度、中度和重度。不同严重程度SG均存在青光眼性视神经损害,轻度患者白-白视野检查正常,但存在短波长自动视野(黄-蓝视野)检查异常或倍频视野检查异常;中度患者上方或下方半野内白-白视野检查异常,且损害<中央5°半径范围;重度患者上方和下方半野内白-白视野检查均异常,且损害≥中央5°半径范围。

**1.2.3 随访情况** 患者于出院后开始进行随访,每3个月随访一次,截至2024年10月,所有患者随访9~57个月。

**1.2.4 患者术前IOP水平对PPV术后发生SG的影响因素分析与相关预测模型构建** 分层回归模型分析患者术后特征与术前IOP水平的相关性。多因素logistic回归分析PPV术后发生SG的影响因素,并对参数进行多重共线性诊断及敏感性分析;分析患者术前IOP与术后SG发生风险的阈值效应。基于多因素logistic回归分析结果构建预测模型,采用受试者操作特征(ROC)曲线评估预测模型的效能和准确度,校准曲线、临床决策曲线评估预测模型的一致性和临床实用性。

**1.3 统计学处理** 采用SPSS 22.0软件和风暴统计(<https://medsta.cn/software>)在线平台进行统计分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,两组间比较采用 $t$ 检验;计数资料以例(%)表示,两组间比较采用 $\chi^2$ 检验或Fisher确切概率法。采用分层回归模型分析PPV术后与术前IOP水平的相关性。多因素logistic回归模型分析PPV术后发生SG的影响因素,并使用方差膨胀因子法诊断共线性, $E$ 值法分析敏感性。曲线拟合分析PPV术前IOP水平与SG发生风险的关系,并通过阈值效应分析获取截断值。根据回归方程式 $y=1-1/(1+e^{-x})$ 建立预测模型,ROC曲线下面积(area under the curve, AUC)评估术前IOP水平对PPV术后发生SG的预测效能,采用校准曲线评价预测模型的一致性,临床决策曲线评价预测模型的临床实用性,采用Bootstrap重采样验证预测模型的准确度。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 两组患者临床资料比较** 接受PPV手术治疗的176例视网膜脱离患者中,孔源性53例,外伤性49例,糖尿病性44例,复杂性30例。

与非SG组比较,SG组患者糖尿病史、青光眼家族史,术后房角状态(关闭)、硅油乳化、硅油填充时间≥6个月的比例增多,术前IOP水平升高,差异均有统计学意义( $P<0.05$ );两组性别、年龄、患

侧、病程、既往眼科手术史、术后玻璃体出血、术后前房积血、术后瞳孔阻滞、术后感染、糖皮质激素使用时间比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ ,表1)。

**表1** 两组接受玻璃体切割术的视网膜脱离患者临床资料比较

**Tab.1** Comparison of clinical data between two groups of retinal detachment patients with pars plana vitrectomy

指标	SG组 (n=88)	非SG组 (n=88)	$\chi^2/t$	P
性别 [例(%)]			0.568	0.451
男	42(47.7)	47(53.4)		
女	46(52.3)	41(46.6)		
年龄(岁, $\bar{x}\pm s$ )	55.7±6.0	54.5±6.1	1.352	0.178
患侧 [例(%)]			0.819	0.366
左眼	48(54.5)	42(47.7)		
右眼	40(45.5)	46(52.3)		
病程 [例(%)]			1.847	0.174
<12个月	42(47.7)	51(58.0)		
≥12个月	46(52.3)	37(42.0)		
糖尿病史 [例(%)]			5.120	0.024
有	50(56.8)	35(39.8)		
无	38(43.2)	53(60.2)		
青光眼家族史 [例(%)]			6.705	0.010
有	36(40.9)	20(22.7)		
无	52(59.1)	68(77.3)		
既往眼科手术史 [例(%)]			1.168	0.280
有	31(35.2)	38(43.2)		
无	57(64.8)	50(56.8)		
术前IOP (mmHg, $\bar{x}\pm s$ )	21.46±2.38	18.06±2.10	7.599	<0.001
术后房角状态 [例(%)]			9.890	0.002
开放	61(69.3)	78(88.6)		
关闭	27(30.7)	10(11.4)		
术后玻璃体出血 [例(%)]			1.032	0.310
有	17(19.3)	12(13.6)		
无	71(80.7)	76(86.4)		
术后前房积血 [例(%)]			0.979	0.322
有	18(20.5)	13(14.8)		
无	70(79.5)	75(85.2)		
术后感染 [例(%)]			0.656	0.418
有	9(10.2)	6(6.8)		
无	79(89.8)	82(93.2)		
术后瞳孔阻滞 [例(%)]			0.487	0.485
有	12(13.6)	9(10.2)		
无	76(86.4)	79(89.8)		
硅油填充时间 [例(%)]			4.996	0.025
<6个月	68(77.3)	79(89.8)		
≥6个月	20(22.7)	9(10.2)		

(续表)

指标	SG组 (n=88)	非SG组 (n=88)	$\chi^2/t$	P
硅油乳化[例(%)]			4.513	0.034
有	18(20.5)	8(9.1)		
无	70(79.5)	80(90.9)		
糖皮质激素使用时间 [例(%)]			0.990	0.320
<2周	77(87.5)	81(92.0)		
≥2周	11(12.5)	7(8.0)		

SG. 继发性青光眼; IOP. 眼内压

**2.2 术前IOP水平与术后特征相关性的分层回归分析** 将术后房角状态(关闭)、硅油填充时间、硅油乳化作为自变量,将术前IOP水平作为因变量进行分层回归分析,结果显示,硅油填充时间、硅油乳化和术前IOP水平相关不明显( $P>0.05$ );术后房角状态(关闭)与术前IOP水平呈明显正相关( $P<0.05$ ,表2)。

**2.3 PPV术后发生SG的多因素logistic回归分析** 将2.1中两组差异有统计学意义的变量纳入多因素logistic回归分析。对因变量进行赋值,SG为1,无SG为0。自变量中,糖尿病史、青光眼家族史和硅油乳化以“有”为1,“无”为0;术后房角状态

“关闭”为1,“开放”为0;硅油填充时间≥6个月为1, <6个月为0;术前IOP≥21 mmHg为1, <21 mmHg为0;所有变量均以“0”为参考。结果显示,糖尿病史、青光眼家族史、硅油乳化、术后房角(关闭)、硅油填充时间≥6个月、术前IOP≥21 mmHg均为PPV术后发生SG的独立危险因素( $P<0.05$ ,表3)。

**2.4 PPV术后发生SG影响因素的多重共线性诊断分析** 将2.3中独立危险因素的变量进行多重共线性诊断。糖尿病史、青光眼家族史、硅油乳化、术后房角状态、硅油填充时间,术前IOP的方差膨胀系数(variance inflation factor, VIF)均<5,容忍度均>0.5,各变量之间相互独立,未见明显的共线性(附表1, <https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.0594.2025.0730FJ>)。

**2.5 相关性E值法的敏感性分析** 在本研究主要探究术前IOP对PPV术后发生SG的影响,鉴于可能存在遗漏关键影响因素,因此,采用E值对因素术前IOP估计进行敏感性分析,以确保结果的稳健性和可靠性。根据公式 $E=RR+\sqrt{RR \times (RR-1)}$ 计算E值,由于1:1选取样本数,结局发生率为50.0%>10.0%,OR不可以近似看为RR,需进行转换,转换公式为 $RR=OR/[(1-P_1)+(P_1 \times OR)]$ , $P_1$ 是术前IOP<21 mmHg

表2 接受玻璃体切割术(PPV)患者术前眼内压(IOP)水平与术后特征相关性的分层回归分析

Tab.2 Hierarchical regression analysis of the correlation of preoperative intraocular pressure (IOP) and postoperative characteristics in patients with pars plana vitrectomy (PPV)

模型	项目	非标准化系数		t	P	$\beta$
		$\beta$	标准误			
分层1	常数	19.543	0.236	82.672	0.000	-
	术后房角状态(关闭)	1.057	0.516	2.050	0.042	0.154
分层2	常数	19.435	0.259	74.974	0.000	-
	术后房角状态(关闭)	1.118	0.519	2.155	0.033	0.162
	硅油填充时间(≥6个月)	0.581	0.570	1.109	0.310	0.077
分层3	常数	19.446	0.263	73.960	0.000	-
	术后房角状态(关闭)	1.137	0.524	2.168	0.031	0.165
	硅油填充时间(≥6个月)	0.660	0.633	1.043	0.299	0.087
	硅油乳化(是)	-0.192	0.659	-0.292	0.771	-0.024

表3 玻璃体切割术后发生继发性青光眼的多因素logistic回归分析结果

Tab.3 Multivariate logistic regression analysis of secondary glaucoma in patients with pars plana vitrectomy

变量	$\beta$	SE	Wald $\chi^2$	OR	95%CI	P
常量	-1.760	0.372	22.334	0.172	-	-
糖尿病史(有)	1.318	0.378	12.119	3.734	1.778~7.841	<0.001
青光眼家族史(有)	1.355	0.391	12.009	3.877	1.801~8.342	0.001
硅油乳化(有)	0.944	0.455	4.302	2.571	1.053~6.277	0.038
术后房角状态(关闭)	1.833	0.478	14.687	6.255	2.449~15.977	<0.001
硅油填充时间(≥6个月)	1.519	0.560	7.357	4.568	1.524~13.693	0.007
术前眼内压(≥21 mmHg)	2.992	0.508	34.707	19.920	7.363~53.895	<0.001

的SG发生率, 得出 $E=5.014$ , 95%CI下限为2.128。即当混杂因素的风险值达到5.014( $E$ 值下限2.128)时, 能使现在观察到的术前IOP对PPV术后发生SG风险的影响无统计学意义( $P>0.05$ ), 关联趋于无效。

**2.6 术前IOP与PPV术后SG发生风险的曲线拟合及阈值效应分析** 调整糖尿病史、青光眼家族史、硅油乳化、术后房角状态、硅油填充时间因素后, 曲线拟合结果显示, 随着术前IOP升高, PPV术后患者发生SG的概率呈上升趋势。阈值分析结果显示, 当术前IOP $<19$  mmHg时, 随着术前IOP升高, PPV术后患者发生SG的概率变化不明显( $OR=1.547$ , 95%CI 0.944~2.535); 当术前IOP $\geq 19$  mmHg时, 随着术前IOP水平升高, 视网膜脱离患者PPV术后发生SG的概率明显增高( $OR=2.942$ , 95%CI 1.794~4.826,  $P<0.001$ )(图1)。

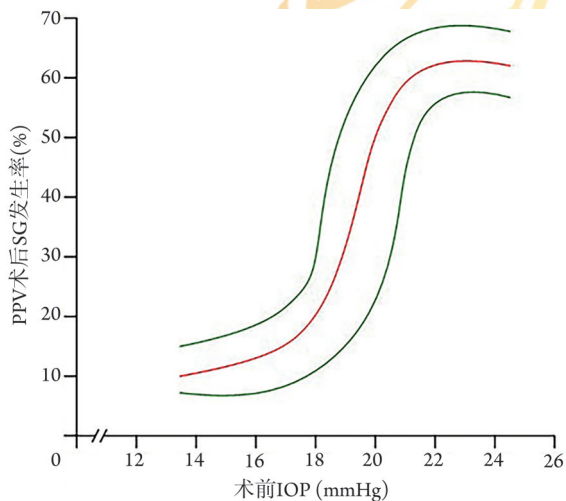


图1 术前眼内压(IOP)与玻璃体切割术(PPV)术后发生继发性青光眼(SG)风险的曲线拟合分析

Fig.1 Curve fitting analysis of preoperative intraocular pressure (IOP) and the risk of secondary glaucoma (SG) in patients with pars plana vitrectomy (PPV)

**2.7 视网膜脱离患者术前IOP与PPV术后发生SG程度的关联效应分析** 将术前IOP逐层划分( $Q_1-Q_5$ ), 纳入logistic回归模型, 逐步排除存在共线性的混杂因素。未校正模型中, 术前IOP与PPV术后发生不同程度SG的风险明显相关( $P<0.001$ )。校正模型最终校正性别、年龄、患侧、病程等变量(模型2)后, 术前IOP仍是PPV术后发生不同程度SG的影响因素, 存在独立相关性( $OR=7.392$ , 95%CI 1.379~12.510,  $P=0.001$ ), 趋势性检验存在统计学意义( $P_{趋势}<0.001$ )(附表2, <https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.0594.2025.0730FJ>)。

**2.8 视网膜脱离患者PPV术后发生SG的预测模型构建与验证** 依据多因素logistic回归分析结果, 构

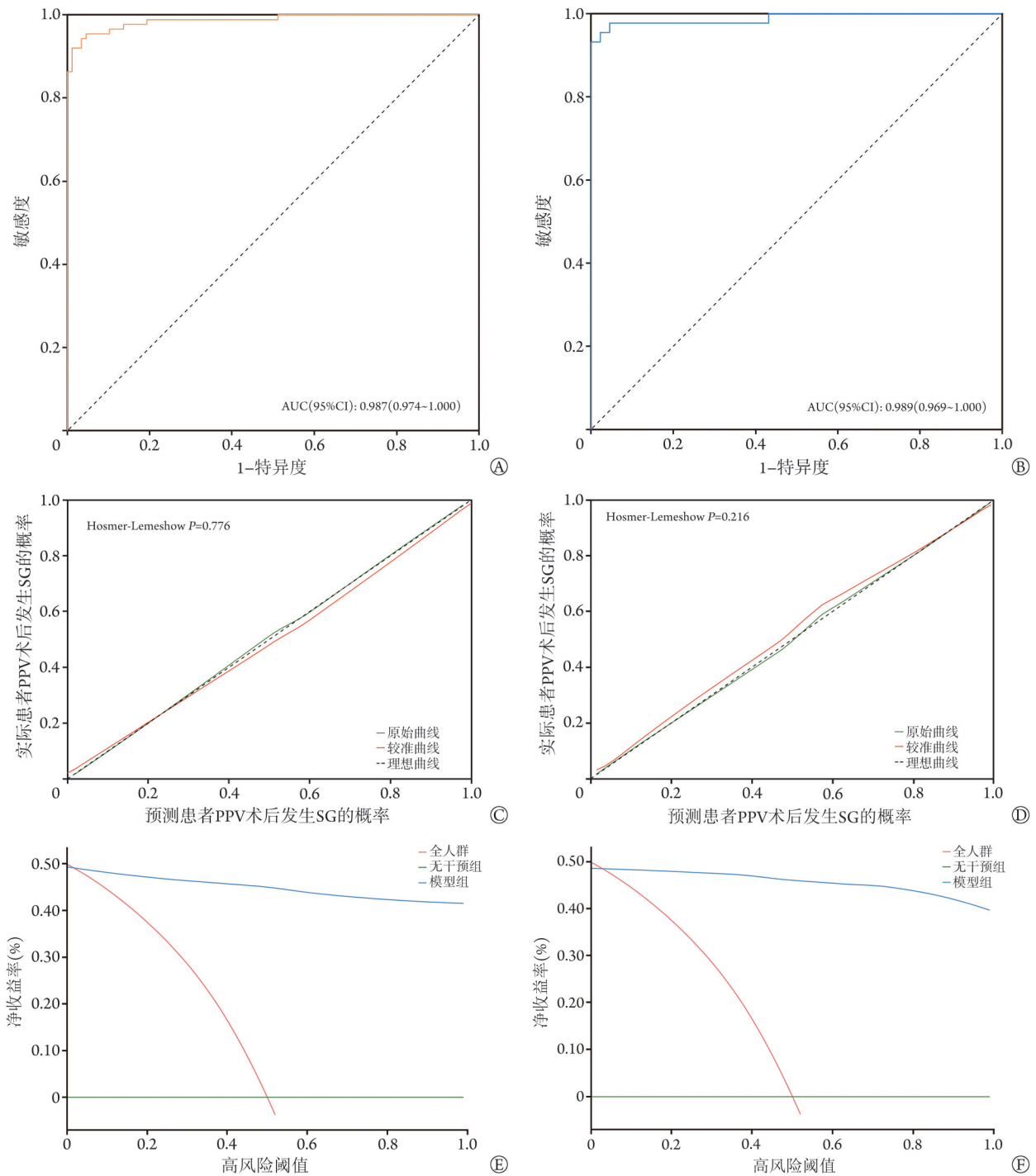
建视网膜脱离患者PPV术后发生SG的预测模型。将2.3结果代入公式 $y=1-1/(1+e^{-z})$ 中, 得到预测发生SG结局的回归方程:  $P_{SG}=1-1/(1+e^{1.760-1.318\times\text{糖尿病史}-1.355\times\text{青光家族史}-0.944\times\text{硅油乳化}-1.833\times\text{术后房角状态}-1.519\times\text{硅油填充时间}-2.992\times\text{术前IOP}})$ , 并使用该回归方程计算SG发生的可能性。当 $P=0.75$ 时, 约登指数达到最大值, 为0.7054; 此时模型预测效能最好, 预测一致率最高, 预测模型准确度、敏感度和特异度依次为0.7920、0.8510和0.8544。当 $P>0.75$ 时, 患者PPV术后发生SG概率较高(附表3, <https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.0594.2025.0730FJ>)。

验证上述预测模型的准确度, 以患者实际是否发生SG事件为状态变量, ROC曲线验证前后模型预测PPV术后发生SG的AUC分别为0.987(95%CI 0.974~1.000,  $P<0.001$ )和0.989(95%CI 0.969~1.000,  $P<0.001$ ), 敏感度分别为0.9332、0.9545, 特异度分别为0.9981、0.9773; 模型的区分度较好(图2A—B)。校准曲线验证前后模型的预测概率与参考概率拟合度均较好, Hosmer-Lemeshow检验结果分别为 $\chi^2=4.824$ ,  $P=0.776$ 和 $\chi^2=10.748$ ,  $P=0.216$ (图2C—D)。临床决策曲线验证前后模型的决策曲线均高于2条极端曲线, 即净收益率在1%~98%阈值范围时大于0, 有一定的临床决策价值(图2E—F)。

### 3 讨论

SG是视网膜手术后的常见并发症, 其发生率为20.0%~35.6%<sup>[12,14]</sup>, 导致SG发生的危险因素之一是IOP水平升高<sup>[15]</sup>。目前, 关于PPV术后继发SG的研究主要聚焦于术后IOP的监测, 而针对术前IOP的研究较少。本研究探讨术前IOP对PPV术后SG发生的影响及其阈值效应, 结果显示, SG组的糖尿病史、青光眼家族史、术前IOP、术后房角状态、硅油填充时间、硅油乳化的水平与对照组间存在明显差异; 提示上述因素可能是影响PPV术后SG发生的重要变量, 而且SG发生也是多因素共同作用的结果。SG组患者术前IOP水平较高, 提示其可能是导致术后SG发生的危险因素之一, 进一步分析证实, 术前IOP $\geq 21$  mmHg是PPV术后发生SG的独立危险因素。这一结果与既往研究结论一致<sup>[6,16]</sup>。

视网膜脱离患者术前高IOP的原因推测如下: (1)房水排出受阻, 视网膜脱离导致玻璃体腔压力改变, 可压迫小梁网, 阻碍房水流出。另外, 视网膜脱离区域容易引发虹膜后粘连, 进一步阻塞房角, 导致IOP水平升高。(2)房水分泌异常, 视网膜脱离刺激睫状体, 导致房水分泌增加, 超出正常排出能力, 造成IOP水平升高。(3)炎症反应, 视网膜脱离会引起局部炎症, 释放炎性介质, 导致睫状体肿胀、



A. 验证前ROC曲线; B. 验证后ROC曲线; C. 验证前校准曲线, D. 验证后校准曲线; E. 验证前决策曲线; F. 验证后决策曲线  
**图2** 视网膜脱离患者玻璃体切割术 (PPV) 术后发生继发性青光眼 (SG) 的预测模型验证前后的ROC曲线、校准曲线和决策曲线

**Fig.2** ROC curve, bias-corrected curve, and DCA curve of the model for secondary glaucoma (SG) after pars plana vitrectomy (PPV) in patients with retinal detachment

房水分泌增加。此外, 炎症反应还可引起小梁网纤维化, 降低房水排出效率, 导致IOP水平升高。除了术前IOP, 糖尿病史<sup>[17]</sup>和青光眼家族史<sup>[18-19]</sup>作为已知的独立风险因素, 在本研究中也得到验证, 遗传因素和全身性疾病状态对术后眼部并发症的发生具有不可忽视的影响<sup>[20]</sup>。此外, 硅油乳化、术后房角

(关闭)、硅油填充时间 $\geq 6$ 个月在本研究中也确定 为PPV术后发生SG的独立危险因素。硅油相关并发症, 特别是硅油乳化, 被广泛认为是导致SG的重要原因之一<sup>[21]</sup>。硅油引起IOP水平升高的发生率高于其他玻璃体填充物<sup>[22]</sup>。术后早期IOP水平升高相关的机制包括硅油过度充盈、瞳孔阻滞、炎症、硅油

移位至前房或术前存在青光眼。迟发性 IOP 水平升高涉及前房中存在硅油乳化、小梁网阻塞、闭角粘连、新生血管性青光眼或术前存在青光眼中的虹膜红变<sup>[23]</sup>。硅油填充时间延长也可造成硅油乳化,硅油长期留置易导致硅油乳化,乳化颗粒迁移至房角并阻塞房水引流通道,引发慢性高 IOP<sup>[24]</sup>。术后房角状态的改变,尤其是关闭状态,可直接影响房水的正常循环,使 IOP 水平升高和 SG 发生的风险增加<sup>[25-27]</sup>。

本研究多重共线性诊断显示,各变量之间不存在明显的共线性,提示本研究基于 logistic 回归得到的显著性变量所构建的预测模型,其准确性和可靠性不会因为变量间存在的相关性而受到影响。本研究敏感性分析显示,当  $E=5.014$  时,能使关联趋于无效,提示在分析术前 IOP 与 PPV 术后 SG 的关系时,需综合考虑其他因素的影响,以确保结果的准确性和可靠性。

本研究阈值效应分析显示,当视网膜脱离患者 PPV 术前 IOP $\geq 19$  mmHg 时,PPV 术后 SG 的发生概率随术前 IOP 的升高而明显增高;而 IOP $< 19$  mmHg 时,PPV 术后 SG 的发生概率与术前 IOP 无明显相关性。这一结果不仅为临床决策提供了具体的数值参考,还提示术前严格控制 IOP 对于预防 PPV 术后 SG 较为重要,同时术前 IOP 阈值的确定为临床决策提供了参考依据,术前 IOP 接近或超过 19 mmHg 的患者应给予更多关注,手术操作和术后管理均需更为谨慎。术前可对 IOP $\geq 19$  mmHg 的患者实施降压治疗,例如应用降低眼压的药物,同时对眼压变化进行密切监测,并依据眼压情况调整用药方案,以降低术前眼压水平,减少术后 SG 的发生风险。

此外,术前 IOP $\geq 19$  mmHg 可作为筛选高风险患者的指标;对于此类患者,术前应进行全面评估,包括眼部检查、全身性基础疾病等,以了解患者的整体健康状况,为制定个性化治疗方案提供依据。同时,应向患者充分告知手术风险,以便其了解术前 IOP 升高对术后 SG 发生的影响,提高患者的依从性。本研究中,校正协变量后,术前 IOP 水平仍与 PPV 术后 SG 的发生明显相关,提示术前 IOP 水平作为 SG 预测指标具备一定的可靠性。本研究通过构建预测模型,进一步验证了术前 IOP 在预测 PPV 术后 SG 中的重要作用;当  $P=0.75$  时,预测模型表现出较高的预测效能,模型准确度、敏感度和特异度依次为 0.7920、0.8510 和 0.8544。这一结果提示当  $P>0.75$  时,视网膜脱离患者 PPV 术后发生 SG 风险较高。对本研究的预测模型做 Bootstrap 验证,验证前后 ROC 曲线、校准曲线和决策曲线均显示预测模型具有较好的区分度和准确性,提示该预测模型在实际临床

应用中具有较高的可靠性和实用性,可为临床实践中个体化预测 PPV 术后 SG 风险提供参考。

本研究仍存在局限性:(1)为单中心研究,样本量相对有限,可能存在一定的偏倚,结果的普遍适用性尚待未来多中心大样本的研究验证和细化。(2)虽然考虑了多种可能的影响因素,仍可能存在未被识别的变量,如患者术后用药差异和依从性。术后用药差异可能影响 PPV 术后 SG 的发生。不同患者接受的药物种类、剂量和疗程不同,对 IOP 控制和 SG 发生的影响也不同。患者依从性也不可忽视,部分患者可能未能严格按照医嘱用药、复查,导致 IOP 控制不佳,从而增加术后 SG 的发生风险。上述未测量的混杂因素可能会在一定程度上干扰术前 IOP 与 PPV 术后 SG 发生之间的真实关系,使得研究结果存在一定的偏倚。(3)主要聚焦于术前 IOP,对于其与术后 IOP 管理、药物治疗效果等方面的关联探讨尚显不足,未来研究可在此方面进行深入研究。

综上所述,术前 IOP 是影响 PPV 术后 SG 发生的独立危险因素之一,且存在明显的阈值效应,对 PPV 术后 SG 的发生具有一定的预测价值。术前 IOP 联合患者的糖尿病史、青光眼家族史、术后房角状态、硅油相关因素及炎性细胞因子水平,可更有效地识别高风险患者,从而采取针对性的预防措施,降低 PPV 术后 SG 的发生率。

#### 【参考文献】

- [1] Maranian M, Snead M. A novel transcriptome approach to the investigation of the molecular pathology of vitreous and retinal detachment[J]. *Genes (Basel)*, 2022, 13(10): 1885.
- [2] Lin JB, Narayanan R, Philippakis E, et al. Retinal detachment[J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2024, 10(1): 18.
- [3] Bellucci C, Romano A, Ramanzini F, et al. Pars plana vitrectomy alone or combined with phacoemulsification to treat rhegmatogenous retinal detachment: a systematic review of the recent literature[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(15): 5021.
- [4] Dhoot AS, Popovic MM, Nichani PAH, et al. Pars plana vitrectomy versus scleral buckle: a comprehensive meta-analysis of 15,947 eyes[J]. *Surv Ophthalmol*, 2022, 67(4): 932-949.
- [5] Popovic MM, Muni RH, Nichani P, et al. Pars plana vitrectomy, scleral buckle, and pneumatic retinopexy for the management of rhegmatogenous retinal detachment: a meta-analysis[J]. *Surv Ophthalmol*, 2022, 67(1): 184-196.
- [6] Kolipaka GP, Rao A. Secondary glaucoma following vitreo-retinal surgeries[J]. *Indian J Ophthalmol*, 2023, 71(1): 18-25.
- [7] Kaya O, Akif Aydin M, Teymoori M, et al. A first-in-human pilot study of a novel electrically-passive metamaterial-inspired resonator-based ocular sensor embedded contact lens monitoring intraocular pressure fluctuations[J]. *Cont Lens Anterior Eye*, 2024, 47(2): 102102.
- [8] Zhu C, Cheng Y, Tang Y, et al. Changes of aqueous humor cytokine profiles of patients with high intraocular pressure after PPV for

- retinal detachment[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 13044.
- [9] Lee SS, Mackey DA. Glaucoma-risk factors and current challenges in the diagnosis of a leading cause of visual impairment[J]. *Maturitas*, 2022, 163: 15-22.
- [10] Yang Y, Zhou H, Hong Z. Glaucoma and dietary links: insights from high-salt intake, the Mediterranean diet, and specific nutrients[J]. *Front Nutr*, 2024, 11: 1461748.
- [11] 李红, 陈兴旺, 宿罡, 等. 转甲状腺素蛋白基因 *Gly83Arg* 突变致玻璃体淀粉样变性—家系玻璃体切割手术后继发性青光眼观察分析[J]. *中华眼底病杂志*, 2021, 37(6): 418-422.
- [12] 蔡雅群, 张旭. 玻璃体视网膜手术后继发性青光眼的病因及治疗[J]. *国际眼科杂志*, 2020, 20(5): 806-809.
- [13] 李建军, 徐亮. 青光眼损害程度分期诊断的意义[J]. *眼科*, 2014, 23(1): 6-8.
- [14] 张虹, 王军明, 季娉婷. 玻璃体视网膜手术后继发性青光眼的处理[J]. *中华眼科杂志*, 2020, 56(10): 796-800.
- [15] Panda A, Panigrahi PK, Pattnaik L. Raised intraocular pressure secondary to vitreoretinal procedures: a literature review[J]. *TNOA J Ophthalmic Sci Res*, 2024, 62(1): 12-19.
- [16] Ge L, Su N, Fan W, *et al.* Risk factors and management of intraocular pressure elevation after vitrectomy combined with silicone oil tamponade[J]. *Int J Gen Med*, 2024, 17: 447-456.
- [17] Waghmare SR, Prasad S, Sankarananthan R, *et al.* Nucleus drop following phacoemulsification surgery: incidence, risk factors and clinical outcomes[J]. *Int Ophthalmol*, 2024, 44(1): 247.
- [18] Kim EA, Salazar D, McCannel CA, *et al.* Glaucoma after iodine-125 brachytherapy for uveal melanoma: incidence and risk factors[J]. *J Glaucoma*, 2020, 29(1): 1-10.
- [19] Miele A, Govetto A, Fumagalli C, *et al.* Ocular hypertension and glaucoma following vitrectomy: a systematic review[J]. *Retina*, 2018, 38(5): 883-890.
- [20] Călugăru D, Călugăru M. Etiology, pathogenesis, and diagnosis of neovascular glaucoma[J]. *Int J Ophthalmol*, 2022, 15(6): 1005-1010.
- [21] Barth T, Radeck V, Gamulescu MA, *et al.* Management of macula-on giant retinal tear detachments- outcome of pars-plana-vitrectomy with silicone oil *versus* gas tamponade[J]. *BMC Ophthalmol*, 2024, 24(1): 184.
- [22] Valentin-Bravo FJ, García-Onrubia L, Andrés-Iglesias C, *et al.* Complications associated with the use of silicone oil in vitreoretinal surgery: a systemic review and meta-analysis[J]. *Acta Ophthalmol*, 2022, 100(4): e864-e880.
- [23] de Oliveira RA, Magalhaes Junior O, Rossi JPDS, *et al.* Complications of silicone oil as vitreous tamponade in pars plana vitrectomy: a mini review[J]. *Curr Eye Res*, 2025, 50(4):353-361.
- [24] Rossi T, Ripandelli G. Pars plana vitrectomy and the risk of ocular hypertension and glaucoma: where are we? [J]. *J Clin Med*, 2020, 9(12): 3994.
- [25] 刘宏真, 马玉红, 王绪保. 复杂玻璃体视网膜手术联合硅油填充术后继发性青光眼的危险因素分析[J]. *中华眼外伤职业眼病杂志*, 2023, 45(11): 814-820.
- [26] Aldaas K, Challa P, Weber DJ, *et al.* Infections and glaucoma[J]. *Surv Ophthalmol*, 2022, 67(3): 637-658.
- [27] Qu J, Tian Z, Li X, *et al.* Anterior segment pars plana vitrectomy combined with posterior capsulorhexis, phacoemulsification and trabeculectomy in treatment of medically uncontrolled acute primary angle-closure glaucoma: a retrospective study[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2022, 101(40): e30946.

(责任编辑: 蒋铭敏)

解放军医学杂志®