

原发性闭角型青光眼患者术后发生恶性青光眼的影响因素

吕靖¹, 班景飞¹, 张志宏¹, 李亚楠²

引用: 吕靖, 班景飞, 张志宏, 等. 原发性闭角型青光眼患者术后发生恶性青光眼的因素. 国际眼科杂志, 2026, 26(4): 711-717.

基金项目: 河北省医学科学研究课题计划项目 (No.20220403)
作者单位: ¹(056000) 中国河北省邯郸市眼科医院青光眼科; ²(061000) 中国河北省沧州市, 沧州眼科医院
作者简介: 吕靖, 女, 本科, 副主任医师, 研究方向: 青光眼。
通讯作者: 班景飞, 男, 本科, 副主任医师, 研究方向: 青光眼。
jxsw@163.com
收稿日期: 2025-09-22 修回日期: 2026-02-26

摘要

目的: 基于 Logistic 回归模型与决策树模型分析原发性闭角型青光眼 (PACG) 患者术后发生恶性青光眼 (MG) 的影响因素。

方法: 回顾性收集 2020 年 3 月至 2025 年 3 月期间于邯郸市眼科医院完成手术且术后 6 mo 发生 MG 的 PACG 患者 (发生组) 及术后 6 mo 未发生 MG 的 PACG 患者 (N-发生组) 的资料, 进行影响因素分析及模型构建。查阅电子病历系统, 收集资料。Logistic 回归模型及决策树模型分析 PACG 患者术后发生 MG 的影响因素; 受试者工作特征 (ROC) 曲线分析预测效能, 评价临床应用价值。

结果: 本研究共纳入 PACG 患者 182 例 182 眼, 其中发生组 91 例 91 眼, N-发生组 91 例 91 眼。发生组中男 53 例, 女 38 例, 年龄 ≥ 60 岁 69 例, 年龄 < 60 岁 22 例。N-发生组中男 47 例, 女 44 例, 年龄 ≥ 60 岁 33 例, 年龄 < 60 岁 58 例。发生组年龄 ≥ 60 岁、糖尿病、PACG 中期、持续高眼压、房角完全关闭、晶状体厚度 < 4.5 mm、眼轴长度 < 22 mm、术后严重炎症的比例均高于 N-发生组 (均 $P < 0.01$)。Logistic 回归结果显示, 年龄 [OR(95%CI) = 2.136 (1.401-3.255)], PACG 分期 [OR(95%CI) = 2.996 (2.044-4.391)], 眼压 [OR(95%CI) = 3.527 (1.604-7.755)], 房角 [OR(95%CI) = 4.826 (2.498-9.324)], 眼轴长度 [OR(95%CI) = 5.125 (1.265-20.771)], 术后严重炎症 [OR(95%CI) = 2.338 (1.478-3.699)] 是术后发生 MG 的影响因素 (均 $P < 0.05$)。决策树模型筛选出 6 个解释变量, 分别为年龄、PACG 分期、眼压、房角、眼轴长度、术后严重炎症, 眼轴长度是发生 MG 最重要的影响因素。Logistic 回归模型与决策树模型预测 MG 的曲线下面积 (AUC) 分别为 0.913 (0.863-0.950)、AUC 为 0.921 (0.872-0.956), 二者比较无统计学差异 ($Z = 0.561, P = 0.575$)。

结论: 决策树和 Logistic 回归模型从不同层面确定 PACG 患者术后发生 MG 影响因素为年龄、PACG 分期、眼压、房角、眼轴长度、术后严重炎症, 其中决策树模型以可视化的形式展现, 预测结果更加直观明了, 二者均适用于临床工作。

关键词: 原发性闭角型青光眼; 恶性青光眼; Logistic 回归模型; 决策树模型

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2026.4.27

Influencing factors for postoperative malignant glaucoma in patients with primary angle-closure glaucoma

Lyu Jing¹, Ban Jingfei¹, Zhang Zhihong¹, Li Yanan²

Foundation item: Medical Science Research Project of Hebei Province (No.20220403)

¹Glaucoma Department, Eye Hospital of Handan City, Handan 056000, Hebei Province, China; ²Cangzhou Eye Hospital, Cangzhou 061000, Hebei Province, China

Correspondence to: Ban Jingfei. Glaucoma Department, Eye Hospital of Handan City, Handan 056000, Hebei Province, China. jxsw@163.com

Received: 2025-09-22 Accepted: 2026-02-26

Abstract

• **AIM:** To analyze the influencing factors of postoperative malignant glaucoma (MG) in patients with primary angle-closure glaucoma (PACG) using logistic regression and decision tree models.

• **METHODS:** A retrospective study was conducted on PACG patients who underwent surgery at Eye Hospital of Handan City from March 2020 to March 2025. Patients were divided into two groups: the MG group, who developed MG within 6 mo postoperatively, and the non-MG group. Data were collected from the electronic medical record system. Univariate analysis was performed, followed by multivariate logistic regression to identify independent risk factors. A classification and regression tree model was constructed to visualize the hierarchical relationships among predictors. The predictive performance of the two models was evaluated and compared using receiver operating characteristic (ROC) curve analysis.

• **RESULTS:** Totally 182 cases (182 eyes) with PACG were enrolled in this study, including 91 cases (91 eyes) in the MG group and 91 cases (91 eyes) in the non-MG group. In the MG group, there were 53 males and 38 females; 69 cases were aged ≥ 60 y and 22 cases were aged < 60 y. In the non-MG group, there were 47 males and 44 females; 33 cases were aged ≥ 60 y and 58 cases were aged < 60 y. The non-MG group comprised 91 patients, including 47 males and 44 females. Among them, 33 cases were aged ≥ 60 y, and 58 cases were aged < 60 y. The MG group had significantly higher proportions of patients aged ≥ 60 y,

diabetes, moderate - stage PACG, persistent high intraocular pressure (IOP), complete anterior chamber angle closure, lens thickness < 4.5 mm, axial length < 22 mm, and severe postoperative inflammation compared to the non-MG group (all $P < 0.01$). Multivariate Logistic regression identified the following as independent influencing factors for postoperative MG: age [OR (95% CI) = 2.136 (1.401 - 3.255)], PACG stage [OR (95% CI) = 2.996 (2.044 - 4.391)], IOP [OR (95% CI) = 3.527 (1.604 - 7.755)], anterior chamber angle [OR (95% CI) = 4.826 (2.498 - 9.324)], axial length [OR (95% CI) = 5.125 (1.265 - 20.771)], and severe postoperative inflammation [OR (95% CI) = 2.338 (1.478 - 3.699)] (all $P < 0.05$). The decision tree model selected six explanatory variables: age, PACG stage, IOP, anterior chamber angle status, axial length, and severe postoperative inflammation. Axial length was the primary splitting factor at the root node. The areas under the ROC curve (AUC) for the logistic regression and decision tree models were 0.913 (0.863 - 0.950) and 0.921 (0.872 - 0.956), respectively, with no significant difference between them ($Z = 0.561, P = 0.575$).

• **CONCLUSION:** Both the logistic regression and decision tree models effectively identify key influencing factors for postoperative MG in PACG patients, including age, PACG stage, IOP, anterior chamber angle status, axial length, and severe postoperative inflammation. The decision tree model offers an intuitive, visual representation of risk stratification, facilitating clinical decision - making. Both models are applicable for clinical risk assessment.

• **KEYWORDS:** primary angle - closure glaucoma; malignant glaucoma; Logistic regression model; decision tree model

Citation: Lyu J, Ban JF, Zhang ZH, et al. Influencing factors for postoperative malignant glaucoma in patients with primary angle - closure glaucoma. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2026, 26(4): 711-717.

0 引言

青光眼是全球不可逆性失明的首要原因,原发性闭角型青光眼(PACG)是其中一种,基于人群的研究表明,与原发开角型青光眼的失明率相比,PACG患者发生严重双眼视力损害的风险平均高出3倍^[1]。过去20年间,随着全球对PACG危害性的认知不断加深,人们对该疾病的了解也取得了显著进展^[2]。PACG以房角狭窄或闭锁为主要特征,导致房水排出受阻、眼压升高,手术治疗是解除房角关闭、降低眼压的关键手段^[3]。然而,术后可能并发恶性青光眼(MG),MG指即使已实施1次或多次手术,患者仍出现眼内中央及周边前房变浅,眼压正常或升高的病理状态,该病以睫状环阻滞或房水逆流、前房变浅伴眼压升高、治疗抵抗(对常规治疗反应不佳)及快速进展至失明为典型特征,该并发症可引起眼压急剧上升,造成视神经损害甚至视力丧失,为临床治疗带来了较大挑战,但其发病机制尚不完全确切,可发生于术后数小时至数月内^[4-5]。因此识别PACG患者术后MG的影响因素对早期预防具有重要意义。然而,较少有研究比较不同预测模型在该临床问题中的效能与适用性,而这对于临床医生选择合适工具至关重要,因此,本研究回顾性收集接受手术治

疗的PACG患者的资料,构建并比较Logistic回归模型与决策树模型,旨在识别PACG术后MG的影响因素,提供一个可视化、易于临床解读的风险决策路径,并量化比较两种模型的预测性能,以期临床提供更具操作性的风险评估工具。

1 对象和方法

1.1 对象 回顾性收集2020年3月至2025年3月期间于邯郸市眼科医院完成手术且术后6mo发生MG的PACG患者(发生组)及术后6mo未发生MG的PACG患者(N-发生组)的资料,进行影响因素分析及模型构建。纳入标准:(1)符合PACG标准^[6];(2)完成手术;(3)医疗记录资料无缺失;(4)有术后6mo内随访资料。排除标准:(1)开角型、继发性青光眼;(2)严重心、肝、肾功能障碍;(3)眼部手术史;(4)眼部严重损伤史;(5)术前已有严重视力损害;(6)恶性肿瘤;(7)术后视网膜脱离。本研究取得邯郸市眼科医院医学伦理委员会审查批准(批准号:2025051902)。参与者对本研究知情同意。

1.2 方法 查阅电子病例系统,收集资料,包括年龄(≥ 60 岁、 < 60 岁)、性别、病程、糖尿病、高血压、PACG眼别(左眼、右眼)、PACG分期[早期(临床前期及前驱期)、中期(急性发作期及慢性进展期),本研究无晚期者]、眼压(持续高眼压、高眼压缓解)、房角(完全关闭、不完全关闭)、晶状体厚度(≥ 4.5 mm、 < 4.5 mm)、眼轴长度(≥ 22 mm、 < 22 mm)、相对晶状体位置(LOWE系数)、术后严重炎症。

测量方法与变量定义标准:眼压:术前及术后眼压均采用非接触式眼压计取连续3次测量的平均值。持续性高眼压:在术前药物治疗下,至少2次不同时间点(间隔 ≥ 24 h)的眼压测量值均 > 21 mmHg。房角:由两位资深青光眼专科医师在暗室环境下,使用Goldmann单面或四面房角镜进行评估。房角完全关闭:在静态观察下, ≥ 270 度范围内的房角结构(小梁网)完全不可见。眼轴长度与晶状体厚度测量:采用IOL Master测量。每只眼测量5次,取平均值作为最终值。术后严重炎症:需满足以下至少一项:前房积脓、角膜弥漫水肿伴后弹力层皱褶、显著的成形性渗出膜形成,或导致虹膜广泛后粘连的严重炎症反应。

统计学分析:采用SPSS25.0完成数据分析,采用 $n(\%)$ 表示计数资料,组间比较行 χ^2 检验;采用 $\bar{x} \pm s$ 表示计量资料,两组间比较行独立样本 t 检验。模型构建与验证:采用多因素Logistic回归分析,将单因素分析有统计学意义($P < 0.05$)的变量纳入多因素Logistic回归模型,采用输入法进行变量筛选,进入标准为 $P < 0.05$,剔除标准为 $P > 0.10$,并进行共线性检验。决策树模型分析:使用分类与回归树(CART)算法构建模型,节点分裂的准则为基尼系数(Gini Index)最小化。为控制模型复杂度、防止过拟合,采用预剪枝策略,参数设定为父节点最小样本数10,子节点最小样本数5,树的最大深度为5。通过十折交叉验证确定最优树结构。模型比较与预测效能评价:分别使用Logistic回归模型和决策树模型计算每位患者术后发生MG的预测概率。基于此预测概率与真实结局,绘制受试者工作特征(ROC)曲线,计算曲线下面积(AUC)及其95%CI以评估模型区分能力。采用DeLong检验比较两个模型AUC的差异。同时,报告两种模型的敏感度、特异度、阳性预测值(PPV)和阴性预测值(NPV)。 $P < 0.05$ 表

示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 单因素分析 本研究共纳入 PACG 患者 182 例 182 眼,其中发生组 91 例 91 眼,N-发生组 91 例 91 眼。发生组年龄 ≥ 60 岁、糖尿病、PACG 中期、持续高眼压、房角完全关闭、晶状体厚度 <4.5 mm、眼轴长度 <22 mm、术后严重炎症的比例均高于 N-发生组(均 $P<0.01$),见表 1。

2.2 Logistic 回归模型分析 以术后是否发生 MG 为因变量(是=1,否=0),以年龄(≥ 60 岁=1, <60 岁=0)、糖尿病(是=1,否=0)、PACG 分期(中期=1,早期=0)、眼压(持续高眼压=1,高眼压缓解=0)、房角(完全关闭=1,不

完全关闭=0)、晶状体厚度(<4.5 mm=1, ≥ 4.5 mm=0)、眼轴长度(<22 mm=1, ≥ 22 mm=0)、术后严重炎症(是=1,否=0)为自变量进行多因素 Logistic 回归分析(输入法),排除有共线性的糖尿病、晶状体厚度(方差膨胀因子=15.632、20.337),结果显示,年龄[OR(95%CI)=2.136(1.401-3.255)],PACG 分期[OR(95%CI)=2.996(2.044-4.391)],眼压[OR(95%CI)=3.527(1.604-7.755)],房角[OR(95%CI)=4.826(2.498-9.324)],眼轴长度[OR(95%CI)=5.125(1.265-20.771)],术后严重炎症[OR(95%CI)=2.338(1.478-3.699)]是术后发生 MG 的影响因素(均 $P<0.05$),见表 2。

表 1 发生组和 N-发生组资料比较

指标	n	发生组(n=91)	N-发生组(n=91)	t/χ^2	P
年龄(例,%)					
≥ 60 岁	102	69(75.8)	33(36.3)	28.906	<0.01
<60 岁	80	22(24.2)	58(63.7)		
性别(例,%)					
男	100	53(58.2)	47(51.6)	0.799	0.371
女	82	38(41.8)	44(48.4)		
病程(例,%)					
≥ 3 mo	87	47(51.6)	40(44.0)	1.079	0.299
<3 mo	95	44(48.4)	51(56.0)		
糖尿病(例,%)					
是	27	20(22.0)	7(7.7)	7.350	0.007
否	155	71(78.0)	84(92.3)		
高血压(例,%)					
是	46	26(28.6)	20(22.0)	1.047	0.306
否	136	65(71.4)	71(78.0)		
眼别(眼,%)					
左眼	100	53(58.2)	47(51.6)	0.799	0.371
右眼	82	38(41.8)	44(48.4)		
PACG 分期(眼,%)					
早期	78	18(19.8)	60(65.9)	39.577	<0.01
中期	104	73(80.2)	31(34.1)		
眼压(眼,%)					
持续高眼压	84	66(72.5)	18(19.8)	50.939	<0.01
高眼压缓解	98	25(27.5)	73(80.2)		
房角(眼,%)					
完全关闭	78	62(68.1)	16(17.6)	47.474	<0.01
不完全关闭	104	29(31.9)	75(82.4)		
晶状体厚度(眼,%)					
≥ 4.5 mm	85	30(33.0)	55(60.4)	13.796	<0.01
<4.5 mm	97	61(67.0)	36(39.6)		
眼轴长度(眼,%)					
≥ 22 mm	97	23(25.3)	74(81.3)	57.414	<0.01
<22 mm	85	68(74.7)	17(18.7)		
LOWE 系数(眼,%)	182	0.17 \pm 0.04	0.18 \pm 0.05	1.490	0.138
前房深度(眼,%)					
≥ 2.5 mm	82	36(39.6)	46(50.5)	2.220	0.136
<2.5 mm	100	55(60.4)	45(49.5)		
术后严重炎症(眼,%)					
是	34	29(31.9)	5(5.5)	20.833	<0.01
否	148	62(68.1)	86(94.5)		

2.3 决策树模型分析 将单因素分析有统计学差异的变量纳入决策树中,得出的模型共3层,共有15个节点,终端8个节点,筛选出6个解释变量,分别为年龄、PACG分期、眼压、房角、眼轴长度、术后严重炎症。结果显示,眼轴长度是发生MG最重要的影响因素,眼轴长度<22 mm者MG发生率为80.0%,眼轴长度≥22 mm者23.7%;对于眼轴长度<22 mm者,另外一个重要预测变量为眼压,持续高眼压者发生率为96.4%,高眼压缓解者48.3%;对眼轴长度≥22 mm者,另外一个预测变量为房角,房角完全关闭者发生率59.4%,高于房角不完全关闭者(6.2%),见图1。

2.4 PACG患者术后MG模型预测结果及评价 用Logistic回归模型及决策树进行统计分析,根据PACG患者术后MG发生率预测值和真实值绘制ROC曲线。Logistic回归模型预测敏感度为83.52%,特异度为89.01%,PPV为88.37%,NPV为84.38%,约登指数为0.725;决策树模型敏感度为86.81%,特异度为86.81%,PPV为86.81%,NPV为86.81%,约登指数为0.736。对Logistic回归、决策树模型绘制ROC曲线,结果显示

Logistic回归模型的AUC为0.913(0.863–0.950),决策树模型AUC为0.921(0.872–0.956)。两模型的预测价值均较好,见图2。运用DeLong法对AUC进行比较,差异无统计学意义($Z=0.561, P=0.575$)。

3 讨论

虽然PACG患者术后发生MG的几率较低,但由于眼部生理结构复杂、MG症状特殊、并发MG者治疗难度高、极易出现失明^[7],因此,针对MG重点在于如何预防,而MG预防的前提即为了解可能影响PACG患者术后发生MG的因素。因此本研究纳入术后MG及术后无MG的PACG患者各91例,整合分析其临床资料,对术后MG的相关影响因素进行初步分析。本研究的主要创新点在于同时应用并比较了两种不同建模思路,不仅验证了已知风险因素,还通过决策树模型提供了一条可视化的临床决策路径,有助于在临床实践中快速识别高危患者,从而进行早期干预。

本研究首先进行PACG术后发生MG影响因素的单因素分析,结果发现,发生组年龄≥60岁、糖尿病、PACG中期、持续高眼压、房角完全关闭、晶状体厚度<4.5mm、

表2 术后发生MG的影响因素

影响因素	β	SE	Wald	P	OR	95%CI
年龄	0.759	0.215	12.460	<0.01	2.136	1.401–3.255
PACG分期	1.097	0.195	31.664	<0.01	2.996	2.044–4.391
眼压	1.260	0.402	9.831	0.002	3.527	1.604–7.755
房角	1.574	0.336	21.945	<0.01	4.826	2.498–9.324
眼轴长度	1.634	0.714	5.238	0.022	5.125	1.265–20.771
术后严重炎症	0.849	0.234	13.173	<0.01	2.338	1.478–3.699

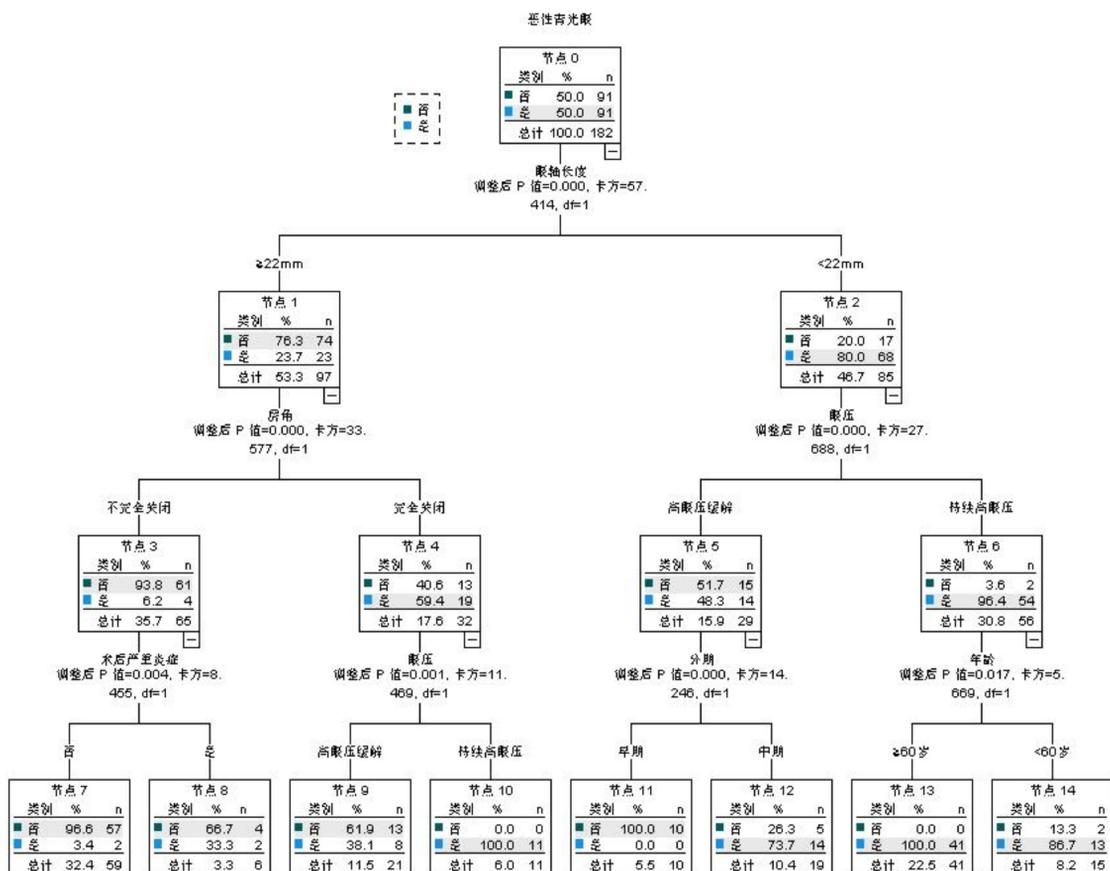


图1 决策树模型。

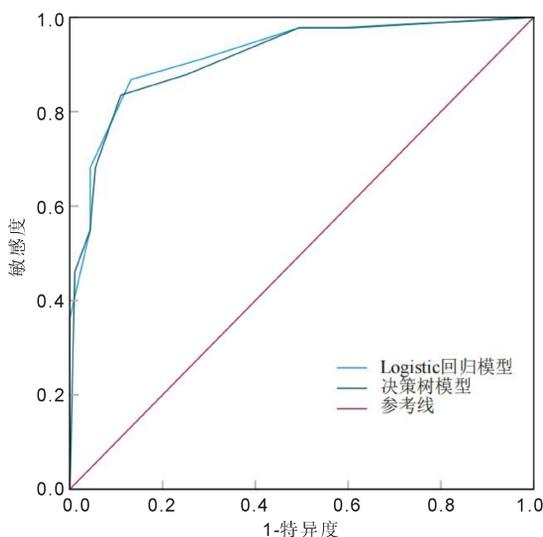


图2 ROC曲线。

眼轴长度 <22 mm、术后严重炎症的比例均高于N-发生组,提示此8项因素均可能影响PACG患者术后MG的发生,为排除干扰因素影响进行了多因素分析,结果发现,年龄、PACG分期、眼压、房角、眼轴长度、术后严重炎症均是PACG术后MG发生的影响因素。决策树模型显示,眼轴长度 <22 mm的PACG患者术后MG发生率高,其中患者持续高眼压且年龄 ≥ 60 岁时,术后MG发生率最高,为100%,说明眼轴长度 <22 mm、持续高眼压且年龄 ≥ 60 岁的PACG患者是术后MG的最高危人群,PACG分期、房角、眼轴长度、术后严重炎症亦是决策树模型筛选出的PACG患者术后发生MG重要影响因素,分析如下:(1)年龄是PACG患者术后发生MG的重要影响因素之一。随着年龄增长,PACG患者晶状体逐渐增厚并前移,前房变浅,房角结构更为狭窄,这些年龄相关的改变加剧了术后睫状环阻滞的风险,从而促进MG的发生^[8]。董晓敏等^[9]进行临床研究指出,高龄者眼部排水能力较差,引起眼内压异常升高,而老化的眼部组织对眼压更为敏感,因此MG的风险更高。因此,针对高龄PACG手术患者,应加强围术期评估及术后监测,积极进行术后抗感染操作,以预防睫状体水肿,避免患者发生MG,达到早期识别和干预以降低MG发生率的目的。(2)PACG分期是影响术后发生MG的重要风险因素。根据疾病进展,可将PACG分为早期、中期、晚期(本研究无晚期者),分期越晚(尤其是中期),术后发生MG的风险通常越高。其机制可能与中期患者房角黏连更广泛、眼前节结构损伤更重以及炎症反应更显著有关,这些因素共同加剧了术后房水引流异常和睫状环阻滞的可能性,因此中期PACG患者术后MG发生的可能性更高^[10]。提示,针对中期PACG患者,手术时应格外警惕MG的发生,并加强术后监测与预防性处理。(3)持续高眼压会导致MG概率增高。由于PACG患者常伴有眼压显著升高,在施行手术前,通常需使用一种或多种降压药物,以使眼压维持在可控水平,但部分患者药物控制效果不理想,仍需在高眼压状态下接受手术^[11-12]。持续高眼压可能引起眼内毛细血管扩张,术中前房突然减压时,血管内外压力急剧变化,易致使血管破裂,引发出血及组织水肿,从而阻碍房水外流,增加了术后发生MG的可能性^[13]。此外,长期高眼压状态还会持续压迫和损害

视神经,改变眼内结构,进一步加剧病情进展,这些病理改变均可能增加MG的发病风险^[14]。为降低术后MG的发生风险,临床医师可采取以下预防措施,如联合使用多种降压药物,力求将眼压降至安全水平再手术;术中谨慎操作,缓慢放出房水,避免眼压急剧下降;术后定期测量眼压,密切监测房水引流情况,预防MG的发生。(4)房角是眼内房水排出的关键通道,若房角不完全关闭,术中多能维持较好的眼内循环;而房角完全关闭后,由于房水向前引流途径被阻断,房水排出受阻,可能发生房水逆流进入玻璃体腔,迅速引起眼压升高,从而引发MG^[15]。因此针对PACG患者,若房角不完全关闭,房角可部分重新开放,房水引流恢复通畅,但PACG患者临床上常出现房角完全关闭,针对此类患者,即使手术解除瞳孔阻滞,仍存在房水向前引流障碍,房水逆流入玻璃体腔的风险较高,因此易导致MG。(5)眼轴长度是影响PACG患者术后MG的关键解剖因素。这是因为眼轴越短(<22 mm)越可能伴有浅前房、晶状体增大、睫状体位置偏前等情况,这些结构性变化易增加术后房水逆流入玻璃体腔的概率,进而引发或加重睫状环阻滞,从而显著增加MG的风险^[16]。提示,术前医师须对眼轴长度进行精准测量和综合评估,以便识别高风险患者,对于眼轴较短者,手术后密切观察其前房及眼压情况,及时给予针对性药物,以防出现MG。(6)术后严重炎症反应亦是PACG术后发生MG的促进因素之一。分析认为,术后严重炎症可能导致睫状体充血水肿,进一步缩小PACG患者术前已存在的睫状环间隙,阻断房水的正常流动,同时,炎症会引发渗出物增多,导致前房压力升高,而高眼压又会压迫玻璃体,促使房水更易进入玻璃体腔形成恶性循环,导致MG风险增高^[17-18],即术后严重炎症可能引起睫状环阻滞、房水逆流及玻璃体腔积液,从而显著增加MG的发生风险。因此,临床医师术后需规范使用药物,可根据炎症程度调整频次,密切监测眼压等指标,若发现炎症加重及时干预,避免炎症进一步诱发或加重MG风险。

本研究不仅识别了危险因素,更致力于推动研究结果向临床实践转化。基于上述6项因素提出以下临床干预建议:(1)对所有拟手术的PACG患者,精确测量眼轴长度,将眼轴 <22 mm者标记为预警对象。(2)对于术前表现为持续性高眼压者,联合使用多种降压药物,力争在术前将眼压控制在安全水平(如 ≤ 21 mmHg),术中操作轻柔,避免房水急剧外流。(3)对于房角完全关闭(≥ 270 度)者,术中应考虑进行充分的房角分离,或选择能更有效解除睫状环阻滞的手术方式(如晶状体摘除联合房角分离)。(4)建立术后炎症反应量化评估表,对出现严重炎症(如前房积脓)者,升级抗炎治疗方案(如加强局部激素频次),并密切监测前房深度与眼压。(5)对于年龄 ≥ 60 岁,尤其是同时符合眼轴 <22 mm者,延长术后观察时间,并加强教育,使其了解MG的早期症状。这些具体措施有望直接融入临床路径,提升围术期管理的精准性与安全性。

两种模型比较:本研究还发现,决策树与Logistic回归模型在预测MG方面均表现出良好的性能。决策树模型依据信息增益等准则逐层递归构建,形成自上而下的树形拓扑结构,其根节点代表最重要的分类属性,通过不断划

分生成分支,最终到达叶节点完成分类过程,该模型以树状图形式呈现,结构清晰直观,易于临床医护人员理解和应用,有助于早期识别高风险患者并实施预见性干预,从而可能减轻病情或降低发病率^[19]。然而,决策树也存在一定局限,当自变量数量多且关系复杂时,容易生成结构复杂、规模过大的树,导致模型泛化能力下降和结果解释困难。为此,常需通过剪枝等方法简化结构,以减轻过拟合现象^[20]。与之相比,Logistic 回归属于一种非线性模型,适用于因变量为分类变量的情形,能够有效分析各自变量与结局之间的依存关系。本研究对两种模型比较时发现:决策树的准确度、敏感度、特异度、约登指数与 Logistic 回归相比无差异,说明两种方法均具有用于 MG 预测的效能。

两种模型适用情况:两种模型表现出相近的区分能力(AUC 无统计学差异),但各有侧重。Logistic 回归模型擅长提供精确的定量风险估计,能够明确各因素的独立效应大小,适用于探究确切的危险因素及机制;而决策树模型则提供直观的可视化临床决策路径,它自动识别了眼轴长度<22 mm 作为首要风险分层节点,并进一步展示了在不同眼轴条件下,眼压、年龄等因素的层级交互规则,提升了模型的临床可操作性与解释性。因此,在方法的选择上,若以发表风险效应量为目标,应优先选用 Logistic 回归;若以开发可直接用于临床分诊或患者教育的决策工具为目标,则决策树模型更适宜。未来研究可考虑采用分步策略,先利用 Logistic 回归筛选和量化核心变量,再以此为基础构建优化决策树,从而实现临床实用性。

与其他研究不同之处:本研究中单因素分析显示有意义的糖尿病与晶状体厚度两个变量,并未进入最终的多因素 Logistic 回归模型。而在既往部分研究中糖尿病^[21]、晶状体厚度^[22]亦是 MG 的关联因素。分析不同原因,初步认为,这可能是由于多重共线性的影响,晶状体厚度效应可能已被更强、更直接的眼轴长度<22 mm 和房角完全关闭所覆盖;而糖尿病与术后 MG 的关联,已被术后严重炎症、持续高血压等更接近病理终点的变量所替代,多因素模型筛选出的 6 个变量,是剔除了重叠信息后的效应更高的影响因素。因此糖尿病、晶状体厚度在本研究中均未成为独立预测因子,主要是因为其效应被更强相关的因素所掩盖。此外,将本研究与近期关注 PACG 合并白内障术后视觉质量优化的研究^[23]比较,将关注点放在探讨术后 MG 这一危急并发症的预测与预防,通过构建并比较 Logistic 回归与决策树模型,不仅识别了年龄、眼轴长度、持续高血压等因素,更旨在建立一个可直接用于临床的风险评估工具,便于临床医生快速识别高危个体,从而实现早期干预。因此,本研究在研究问题、研究方法及临床决策上均提供了新的视角。

本研究创新性地将 Logistic 回归模型与决策树模型结合应用于 PACG 术后 MG 的风险预测研究。与同类研究仅采用单一统计模型不同^[9],本研究构建并系统比较了两种模型,不仅通过 Logistic 回归量化了各危险因素的独立效应,更通过决策树模型生成了一条可视化、可操作的临床风险分层路径。这一组合兼顾了因素探究与临床决策,为临床医生提供了一个直观、高效的风险评估工具。此外,本研究所提出的基于模型的干预建议具有明确的临床

转化价值,为 PACG 患者的个体化管理提供了新的思路和方法。本研究亦存在若干局限性:(1)随访时间 6 mo,尽管 MG 多见于术后早期,但仍有少数病例可能于更晚时间点发生。较短的随访期可能无法完全捕获这些晚期事件,从而可能轻微低估 MG 的总体发生率。(2)本研究为单中心回顾性设计,样本量有限,可能存在选择偏倚。(3)决策树模型虽直观,但在新人群中的预测效能尚待外部数据验证。未来需要开展多中心、大样本、前瞻性纵向研究,并延长随访时间至 1 a 或更长,以更全面地描绘 PACG 术后 MG 的发生轨迹,验证并完善本模型。(4)本研究纳入的变量均为临床常规指标,未来可探索结合影像组学、生物标志物等新维度,以构建预测效能更高的模型。

综上所述,决策树和 Logistic 回归模型从不同层面确定 PACG 患者术后发生 MG 的影响因素为年龄、PACG 分期、眼压、房角、眼轴长度、术后严重炎症,其中 Logistic 回归模型更适用于探究确切的危险因素;决策树模型以可视化的形式展现了清晰的风险分层路径,预测结果更加直观、明了,具有突出的临床可操作性与解释性,为临床医生提供了一个实用的风险评估工具,二者均适用于临床工作。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。

作者贡献声明: 吕靖论文选题与修改,初稿撰写;张志宏文献检索,数据分析;班景飞选题指导,论文审阅;李亚楠论文协助修改。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] George R, Panda S, Vijaya L. Blindness in glaucoma: primary open-angle glaucoma versus primary angle-closure glaucoma—a meta-analysis. *Eye*, 2022,36(11):2099-2105.
- [2] Wang Y, Dong XX, Hou XW, et al. Risk factors for primary angle-closure glaucoma: a systematic review and meta-analysis of 45 studies. *Optom Vis Sci*, 2023,100(9):606-613.
- [3] Liang YJ, Ling AN, Chan PP, et al. Genetic association of primary angle-closure glaucoma and disease progression. *Clin Exp Ophthalmol*, 2025,53(6):660-667.
- [4] Suzuki T. Malignant glaucoma after immediate primary phacoemulsification for acute primary angle closure: a case report. *Cureus*, 2023,15(4):e37963-e37972.
- [5] Zuo CG, Wang DQ, Guo XX, et al. Associations between the choroidal vascularity index and malignant glaucoma after trabeculectomy for primary angle closure glaucoma. *Front Med*, 2021,8(1):747720.
- [6] 中华医学会眼科学分会青光眼学组,中国医师协会眼科医师分会青光眼学组. 中国原发性闭角型青光眼诊治方案专家共识(2025年). *中华眼科杂志*, 2025,61(9):652-660.
- [7] Warjri GB, Senthil S. Imaging of the ciliary body: a major review. *Semin Ophthalmol*, 2022,37(6):711-723.
- [8] Sabeti S, Ball KL, Bhattacharya SK, et al. Consensus statement for the management and treatment of sturge-weber syndrome: neurology, neuroimaging, and ophthalmology recommendations. *Pediatr Neurol*, 2021,121:59-66.
- [9] 董晓敏,杨建玲. 列线图构建原发性闭角型青光眼患者术后发生恶性青光眼的模型及验证. *中国现代医学杂志*, 2024,34(11):20-26.
- [10] 浙江省眼科疾病临床医学研究中心,梁远波. 原发性闭角型青光眼急性发作诊断与治疗浙江省青光眼防治专家共识(2024年). *浙江医学*, 2024,46(24):2577-2581,2594.

- [11] Wang T, Zhang YR, Chi ML, et al. A novel fixed-combination timolol-netarsudil-latanoprost ophthalmic solution for the treatment of glaucoma and ocular hypertension. *Asian J Pharm Sci*, 2022, 17(6): 938-948.
- [12] Lazzaro C, van Steen C, Ghirelli G, et al. A latanoprost cationic emulsion (STN1013001) *vs.* other latanoprost formulations (Latanoprost) in open angle glaucoma/ocular hypertension and ocular surface disease: an Italian cost-utility analysis. *Expert Rev Pharmacoecon Outcomes Res*, 2023, 23(2): 251-265.
- [13] Gedik S, Gulseren O. Effectiveness of selective laser trabeculoplasty and its safety on corneal endothelium in patients with primary open angle glaucoma and ocular hypertension. *Niger J Clin Pract*, 2022, 25(12): 2046-2052.
- [14] Hou WB, Feng J, Chen J, et al. Analysis of the optic nerve head microcirculation using optical coherence tomography angiography and the upstream macrocirculation using color Doppler imaging in low-tension and high-tension glaucoma patients. *Ophthalmic Res*, 2023, 66(1): 579-589.
- [15] 宋丽华, 李忠梅, 陶远, 等. 原发性闭角型青光眼术后患者并发恶性青光眼的相关影响因素分析. *生命科学仪器*, 2022, 20(z1): 123-124.
- [16] Wang Y, Hou ZJ, Wang HZ, et al. Comparison of ocular axis and corneal diameter between entropion and non-entropion eyes in children with congenital glaucoma. *World J Clin Cases*, 2021, 9(18): 4637-4643.
- [17] Yoshikawa Y, Kumagai T, Shinoda K. Vitreous noise on optical coherence tomography as an early finding of brolicizumab-related intraocular inflammation. *Case Rep Ophthalmol*, 2022, 12(3): 797-803.
- [18] Wu XY, Pu LJ, Chen W, et al. LY294002 attenuates inflammatory response in endotoxin-induced uveitis by downregulating JAK3 and inactivating the PI3K/Akt signaling. *Immunopharmacol Immunotoxicol*, 2022, 44(4): 510-518.
- [19] 何高均, 徐小凤, 李明江. 基于房水中 IL-6 和 IL-2 水平构建 POAG 患者视神经损伤严重程度的决策树模型. *国际眼科杂志*, 2025, 25(3): 384-389.
- [20] Luo XD, Wen XH, Zhou MC, et al. Decision-tree-initialized dendritic neuron model for fast and accurate data classification. *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*, 2022, 33(9): 4173-4183.
- [21] Ueda Y, Suda KJ, Kameda T, et al. Risk factors for progression of primary open angle glaucoma with lower normal intraocular pressure. *Ophthalmic Res*, 2024, 67(1): 184-191.
- [22] Gao Y, Shi Y, Yu XW, et al. Peripheral vitreoretinal abnormality and its correlation with malignant glaucoma in nanophthalmos with secondary angle closure glaucoma. *Eye*, 2025, 39(16): 2918-2925.
- [23] 陈明睿, 李建华, 陈沁芸, 等. 原发性闭角型青光眼合并白内障术后视觉质量变化及影响因素. *国际眼科杂志*, 2024, 24(4): 545-550.