

糖尿病性白内障患者术后屈光误差的影响因素及预测模型构建

张艳红, 赵佐芳, 贾前伟, 赵小英

成都市郫都区人民医院眼科, 四川成都 611730

[中图分类号] R776.1; R587.2

[文献标志码] A

[DOI] 10.11855/j.issn.0577-7402.0367.2025.0918

[声明] 本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文] 张艳红, 赵佐芳, 贾前伟等. 糖尿病性白内障患者术后屈光误差的影响因素及预测模型构建[J]. 解放军医学杂志, DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.0367.2025.0918.

[收稿日期] 2025-03-04

[录用日期] 2025-06-01

[上线日期] 2025-09-18

[摘要] **目的** 探讨糖尿病性白内障患者白内障手术后屈光误差的影响因素并构建预测模型。**方法** 回顾性分析2020年3月—2023年3月在成都市郫都区人民医院接受超声乳化白内障吸除联合人工晶状体植入术的159例糖尿病性白内障患者的临床资料, 采用随机数表法以2:1的比例分为训练集(106例)和验证集(53例), 分别用于患者术后屈光误差预测模型的构建和验证。分析患者各临床指标对术后绝对屈光误差(ARE)的影响, 采用随机森林算法对相关指标进行重要性评分, 筛选患者术后ARE的影响因素。采用Spearman法分析术后ARE与相关指标的相关性, 多元线性回归分析患者术后ARE的影响因素, 并绘制回归方程评估ARE与实际检测值的散点图; 构建患者术后屈光误差的预测模型并对模型进行诊断与评价。**结果** 单因素分析和随机森林算法结果显示, 患者术后ARE的影响因素按重要性评分排名居前6位的是: 前房深度(ACD)、眼轴长度(AL)、糖化血红蛋白(HbA_{1c})、晶状体厚度(LT)、眼压和平均角膜曲率(Km)。Spearman相关性分析结果显示, 患者术后ARE与屈光误差相关指标(ACD、AL、HbA_{1c}、LT、眼压和Km)之间均具有一定相关性(ρ 分别为0.428、0.685、0.756、0.365、0.489、-0.442, $P < 0.05$)。多元Logistic回归分析结果显示, $AL \geq 26$ mm、 $ACD \geq 2$ mm、 $HbA_{1c} \geq 7.5\%$ 、眼压 ≥ 15 mmHg、 $LT \geq 4$ mm和 $Km \geq 48$ D均为患者术后ARE的独立影响因素($P < 0.05$); 据此建立术后屈光误差预测模型在训练集和验证集的ROC曲线下面积(AUC)分别为0.792、0.788, 特异度为0.815、0.811, 敏感度为0.807、0.798; 校准曲线拟合良好; 决策曲线结果显示, 预测模型在0.1~0.9阈值率内净收益较高; 内部验证结果显示, 模型预测患者术后屈光误差的AUC为0.897, Brier值为0.108。**结论** AL、ACD、HbA_{1c}、眼压、LT和Km均为糖尿病性白内障患者术后ARE的影响因素, 临床可针对上述危险因素制定个性化预防策略和护理对策。

[关键词] 糖尿病合并白内障; 术后屈光误差; 影响因素; 预防策略

Influencing factors and prediction model construction of postoperative refractive error in patients with diabetic cataract

Zhang Yan-Hong, Zhao Zuo-Fang, Jia Qian-Wei, Zhao Xiao-Ying

Department of Ophthalmology, Chengdu Pidu District People's Hospital, Chengdu, Sichuan 611730, China

[Abstract] **Objective** To investigate the influencing factors of postoperative refractive error in patients with diabetic cataract and establish a prediction model. **Methods** Retrospective analysis of clinical data of 159 patients with diabetic cataract received phacoemulsification for cataract extraction and artificial lens implantation surgery in Chengdu Pidu District People's Hospital from March 2020 to March 2023. Using the random number table method, patients were divided into a training set ($n=106$) and a validation set ($n=53$) in a 2:1 ratio, respectively, to construct and validate a risk model for postoperative refractive drift. Comparing clinical data of the patients, random forest algorithm was used to score the importance of each index and screen the factors that affect patients' postoperative refractive shift. Spearman method was used to analyze the relationship between ARE and the indicators related to postoperative refractive deviation. Multiple linear regression was used to analyze the influencing factors of postoperative refractive shift in patients, and draw a regression equation to evaluate the scatter plot between ARE and actual detection values. A predictive

[作者简介] 张艳红, 副主任医师, 主要从事白内障和视网膜疾病方面的研究

model for postoperative refractive shift in patients with diabetic cataract was constructed, diagnosed and evaluated. **Results** The results of the univariate analysis and random forest algorithm showed that the top 6 variables in terms of importance scores are anterior chamber depth (ACD), axial length (AL), glycated hemoglobin A1c (HbA_{1c}), lens thickness (LT), intraocular pressure and keratometry mean (Km) respectively. The results of Spearman correlation analysis indicated that there were certain correlations between postoperative ARE and refractive deviation-related indicators (ACD, AL, HbA_{1c} , LT, intraocular pressure and Km) (ρ was 0.428, 0.685, 0.756, 0.365, 0.489, and -0.442 respectively, $P<0.05$). The results of multiple linear analysis showed that $AL\geq 26$ mm, $ACD\geq 2$ mm, $HbA_{1c}\geq 7.5\%$, intraocular pressure ≥ 15 mmHg, $LT\geq 4$ mm and $Km\geq 48$ D were all independent risk factors affecting postoperative ARE of patients ($P<0.05$). The areas under the ROC curves of the training set and validation set of the postoperative refractive shift prediction model were 0.792 and 0.788 respectively, the specificities were 0.815 and 0.811, and the sensitivities were 0.807 and 0.798. The calibration curve fits well, indicating that the model has a relatively high accuracy. The results of the decision curve show that the net benefit of the model is higher within the threshold probability range of 0.1 - 0.9. The results of internal verification showed that the area under the ROC curve was internally verified to be 0.897 and the Brier value was 0.108. **Conclusions** AL, ACD, HbA_{1c} , intraocular pressure, LT, and Km are all influencing factors for postoperative ARE of patients with diabetic cataract. Personalized prevention strategies and nursing strategies could be developed in clinical practice to address these risk factors.

[Key words] diabetic cataract; postoperative refractive error; influencing factors; preventive strategies

白内障是糖尿病的重要并发症之一。随着糖尿病发病率的升高,白内障发病率也呈上升趋势^[1-2]。糖尿病性白内障患者发生眼底病变较多,手术风险高于普通白内障患者,需要制定更精准化、个性化的治疗方案。其中,超声乳化白内障吸除联合人工晶状体(intraocular lens, IOL)植入术由于其切口小、恢复快等优势,已在临床广泛应用;但部分患者术后发生屈光预测误差现象,影响手术疗效及患者满意度。近年来,白内障手术已从单纯的复明手术向屈光手术转变^[3],如何降低术后的屈光度误差已成为临床关注的焦点^[4]。有研究显示,前房深度(anterior chamber depth, ACD)、眼压、眼轴长度(axial length, AL)等眼部参数均会对患者术后视力产生一定影响^[5]。本研究对比不同眼部参数的糖尿病性白内障患者术后绝对屈光误差(absolute refractive error, ARE)情况,探讨术后屈光误差的影响因素并构建预测模型,旨在为糖尿病性白内障患者的个性化预防策略制定提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性选取2020年3月—2023年3月在成都市郫都区人民医院接受超声乳化白内障吸除联合IOL植入术治疗的159例糖尿病性白内障患者,男72例,女87例,年龄53~76(61.7 ± 5.7)岁。采用SPSS 23.0软件进行先验样本量计算,以多元线性回归为主要分析方法,设定显著性水平 $\alpha=0.05$ 、统计功效($1-\beta$)=0.8、效应量为中等(Cohen's $f^2=0.15$),计算得出最小样本量为140例。

在随机数表法的基础上,采用分层抽样法将所有患者以2:1的比例分为训练集(106例)和验证集(53例),分别用于糖尿病合并白内障患者术后ARE

风险模型的构建和验证。按以下变量分层抽样:糖尿病病程分为 <12 个月、 ≥ 12 个月;白内障类型分为皮质型老年性白内障、核型老年性白内障、后囊下型老年性白内障。通过分层抽样确保训练集与验证集在糖尿病病程及白内障类型上分布均衡($P>0.05$)。

纳入标准: (1)符合白内障诊断标准^[6]。(2)合并2型糖尿病,符合世界卫生组织(World Health Organization, WHO)的2型糖尿病诊断标准,即空腹血糖 ≥ 7.0 mmol/L和(或)餐后2 h血糖 ≥ 11.1 mmol/L和(或)糖化血红蛋白(glycated hemoglobin A1c, HbA_{1c}) $\geq 6.5\%$,或有明确糖尿病病史且正在接受降糖治疗;糖尿病病程 ≥ 6 个月,且接受规律降糖治疗(口服降糖药或注射胰岛素)。(3)接受超声乳化白内障吸除联合IOL植入治疗。排除标准:(1)有眼部手术史;(2)合并其他眼部疾病。本研究获成都市郫都区人民医院伦理委员会审批[451476-a(14)]。

1.2 方法

1.2.1 超声乳化白内障吸除联合IOL植入术 表面麻醉后,在术眼10点钟位做2.8 mm透明角膜隧道切口,注入粘弹剂行环形撕囊,行超声乳化吸出晶状体(美国爱尔康 Infiniti 白内障乳化手术系统),并根据患者情况选择合适度数的IOL(均为德国蔡司 S09M 非球面人工晶状体)植入囊袋内,最后常规形成前房及密闭切口。所有患者均由同一医师实施手术。

1.2.2 观察指标 (1)收集患者的一般资料,包括性别、年龄、糖尿病病程。(2)术前测量IOL度数、AL、ACD、角膜缘白到白距离(white-to-white, WTW)、平均角膜曲率(keratometry mean, Km)及晶状体厚度(lens thickness, LT),均由德国蔡司 IOL Master 700 生物测量仪采集完成。(3)采用国际标准视力表测量裸眼视力。(4)采用Goldmann眼压计测量

眼压。(5)使用超声生物显微镜测量晶状体悬韧带长度。(6)角膜生物力学指标:角膜中央厚度(central corneal thickness, CCT)、第1次压平时间(the first applanation time, A1T)和最大形变幅度(deformation amplitude, DA)。(7)通过Barrett Universal II公式计算术后目标屈光度。术后屈光度与目标屈光度的差值为屈光误差(refractive error, RE), RE为负值提示发生近视漂移, RE为正值提示发生远视漂移, ARE为RE的绝对值。(8)糖尿病相关代谢指标:于术前1周内采用高效液相色谱法检测患者血HbA1c(美国伯乐Bio-Rad D-10全自动糖化血红蛋白分析仪);患者的空腹血糖于术前1 d、空腹8 h后采用静脉血浆葡萄糖氧化酶法检测(仪器为瑞士罗氏Cobas 8000全自动生化分析仪)。(9)晶状体混浊程度,采用晶状体混浊分类系统III(Lens Opacities Classification System III, LOCS III)进行分级,核混浊度的严重程度以NO1-NO6评估。(10)眼部指标测量,术前测量IOL度数、AL、ACD、WTW、Km及LT(仪器为IOL Master 700);采用Goldmann压平式眼压计(瑞士Haag-Streit公司)测量眼压;使用超声生物显微镜UBM SW-3200(中国深圳盛沃医疗)测量晶状体悬韧带长度;采用Corvis ST角膜生物力学分析仪(德国OCULUS公司)测量角膜生物力学指标(CCT、A1T、DA)。

1.2.3 术后屈光误差影响因素分析与预测模型的构建 对糖尿病性白内障患者术后ARE的可能影响因素进行单因素分析;基于随机森林模型算法对患者术后ARE的可能影响因素进行重要性评分并进行筛选。分析术后ARE与术后屈光偏移相关指标的相关性。基于随机森林算法和多因素Logistic回归分析患者术后屈光偏移的影响因素,构建预测患者术后屈光偏移的Logistic回归模型,并对模型效能进行验证、评估。

1.3 统计学处理 采用SPSS 23.0软件进行统计分析。计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用R软件进行随机森林模型分析,筛选影响患者术后屈光误差的指标。采用Spearman法进行相关性分析。多因素Logistic回归分析患者术后屈光误差的影响因素,并绘制多元线性回归方程评估ARE与实际检测值的散点图。构建预测患者术后屈光误差的Logistic回归模型,并采用ROC曲线、校准曲线、临床决策曲线对模型效能进行验证。使用Bootstrap法进行重抽样进行内部验证。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 训练集与测试集样本比较 训练集和测试集患

者白内障手术后2个月ARE及所有研究变量比较,差异均无统计学意义($P>0.05$,附表1, <https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.0367.2025.0918FJ>)。

2.2 糖尿病性白内障患者术后ARE的单因素分析 不同性别、年龄、糖尿病病程、裸眼视力、WTW、白内障类型和晶状体悬韧带长度的患者ARE比较,差异无统计学意义($P>0.05$);不同AL、ACD、眼压、LT、Km、CCT、A1T、DA、HbA1c和空腹血糖水平的患者ARE比较,差异有统计学意义($P<0.05$,表1)。

表1 糖尿病性白内障患者术后绝对屈光误差(ARE)的单因素分析

Tab.1 Univariate analysis of postoperative absolute refractive error (ARE) in patients with diabetic cataract

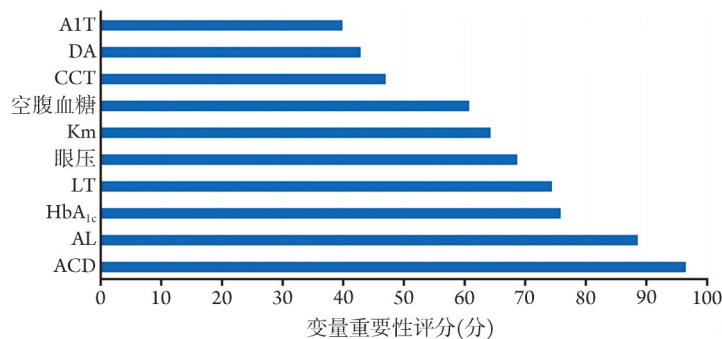
项目	例数(%) (n=106)	术后2个月 ARE(D, $\bar{x}\pm s$)	t	P
性别			1.589	0.115
男	50(47.2)	0.64 $\pm$ 0.15		
女	56(52.8)	0.69 $\pm$ 0.19		
年龄(岁)			1.427	0.156
<60	39(36.8)	0.67 $\pm$ 0.17		
≥ 60	67(63.2)	0.72 $\pm$ 0.21		
糖尿病病程(个月)			1.742	0.084
<12个月	35(33.0)	0.65 $\pm$ 0.18		
≥ 12 个月	71(67.0)	0.71 $\pm$ 0.20		
眼轴长度(mm)			10.926	<0.001
<26 mm	64(60.4)	0.54 $\pm$ 0.16		
≥ 26 mm	42(39.6)	0.93 $\pm$ 0.22		
裸眼视力			1.357	0.177
<1	78(73.6)	0.42 $\pm$ 0.13		
≥ 1	28(26.4)	0.39 $\pm$ 0.12		
前房深度(mm)			12.314	<0.001
<2	36(34.0)	0.37 $\pm$ 0.10		
≥ 2	70(66.0)	0.76 $\pm$ 0.21		
眼压(mmHg)			7.355	<0.001
<15	40(37.7)	0.43 $\pm$ 0.12		
≥ 15	66(62.3)	0.65 $\pm$ 0.19		
晶状体厚度(mm)			6.178	<0.001
<4	49(46.2)	0.49 $\pm$ 0.11		
≥ 4	57(53.8)	0.68 $\pm$ 0.20		
WTW(mm)			1.669	0.097
<12	62(58.5)	0.62 $\pm$ 0.18		
≥ 12	44(41.5)	0.57 $\pm$ 0.16		
Km(D)			8.455	<0.001
<48	65(61.3)	0.45 $\pm$ 0.17		
≥ 48	41(38.7)	0.82 $\pm$ 0.28		
晶状体悬韧带长度(mm)			1.384	0.169
<0.9	53(50.0)	0.70 $\pm$ 0.23		
≥ 0.9	53(50.0)	0.76 $\pm$ 0.25		

(续表)

项目	例数(%) (n=106)	术后2个月 ARE(D, $\bar{x}\pm s$)	t	P
角膜中央厚度(μm)			3.675	<0.001
<530	29(27.4)	0.52 $\pm$ 0.19		
$\geq$ 530	77(72.6)	0.69 $\pm$ 0.22		
A1T(ms)			3.534	0.001
<7.50	42(39.6)	0.53 $\pm$ 0.16		
$\geq$ 7.50	64(60.4)	0.66 $\pm$ 0.20		
DA(mm)			4.414	<0.001
<1.05	86(81.1)	0.64 $\pm$ 0.18		
$\geq$ 1.05	20(18.9)	0.45 $\pm$ 0.14		
糖化血红蛋白			6.056	<0.001
<7.5%	82(77.4)	0.58 $\pm$ 0.16		
$\geq$ 7.5%	24(22.6)	0.83 $\pm$ 0.23		
空腹血糖(mmol/L)			4.648	<0.001
<7.0	68(64.2)	0.61 $\pm$ 0.18		
$\geq$ 7.0	38(35.8)	0.79 $\pm$ 0.21		
LOCS III 分级			0.195	0.846
1-3级	68(64.2)	0.75 $\pm$ 0.25		
4-6级	38(35.8)	0.74 $\pm$ 0.26		
白内障类型			0.067	0.935
皮质型老年性白内障	32(30.2)	0.76 $\pm$ 0.24		
核性老年性白内障	45(42.4)	0.75 $\pm$ 0.23		
后囊下型老年性白内障	29(27.4)	0.77 $\pm$ 0.22		

WTW. 角膜缘白到白距离; Km. 平均角膜曲率; A1T. 第1次压平时间; DA. 最大形变幅度; LOCS III. 晶状体混浊分类系统 III

2.3 糖尿病性白内障患者术后 ARE 影响因素重要性排序和多因素 Logistic 回归分析 用训练集数据建立基于随机森林算法的术后屈光偏移预测模型, 得到各变量重要性评分; 当变量数为 5 时, 袋外数据错误率最低(图 1)。将变量重要性评分居前 6 位的变量——ACD、AL、HbA_{1c}、LT、眼压和 Km, 纳入随机森林算法建立术后屈光偏移预测模型。将表 1 中差



A1T. 第1次压平时间; DA. 最大形变幅度; CCT. 角膜中央厚度; Km. 平均角膜曲率; LT. 晶状体厚度; HbA_{1c}. 糖化血红蛋白; AL. 眼轴长度; ACD. 前房深度

图1 随机森林算法分析糖尿病性白内障术后屈光误差影响因素的重要性(A)和袋外数据分类错误率(B)

Fig.1 The importance of influencing factors to refractive drift in patients with diabetic cataract (A) and error rate of out-of-bag (B) based on random forest algorithm

异有统计学意义的指标作为自变量(赋值见附表 2, <https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.0367.2025.0918FJ>), 将术后 ARE(是=1, 否=0)作为因变量, 进行多因素 Logistic 回归分析; 结果显示, ACD、AL、HbA_{1c}、LT、眼压和 Km 为术后 ARE 的独立影响因素 ($P<0.05$, 表 2)。

表 2 糖尿病性白内障患者术后绝对屈光误差(ARE)的多因素 Logistic 回归分析结果

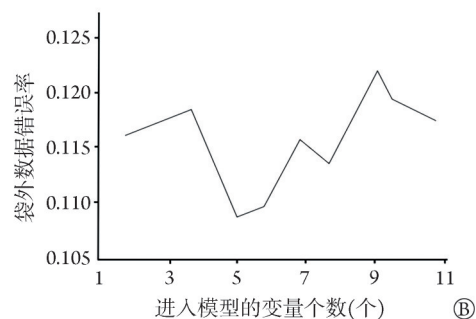
Tab.2 Multivariate logistic regression analysis of postoperative absolute refractive error (ARE) in patients with diabetic cataract

变量	β	SE	Wald χ^2	OR	95%CI	P
眼轴长度	1.879	0.598	9.870	6.545	1.556~18.923	<0.001
前房深度	2.139	0.786	7.404	8.489	1.754~23.695	<0.001
眼压	1.510	0.578	6.821	4.525	1.382~10.427	<0.001
晶状体厚度	1.056	0.378	7.805	2.875	1.139~7.226	<0.001
角膜中央厚度	0.518	0.678	0.583	1.678	0.428~4.189	0.053
Km	1.636	0.696	5.527	5.136	1.468~15.435	<0.001
A1T	0.459	0.538	0.727	1.583	0.288~5.478	0.068
DA	0.601	0.618	0.946	1.824	0.612~3.925	0.056
糖化血红蛋白	1.271	0.368	11.928	3.564	1.325~5.654	0.024
空腹血糖	0.318	0.456	0.486	1.375	0.659~3.657	0.124

Km. 平均角膜曲率; A1T. 第1次压平时间; DA. 最大形变幅度

2.4 糖尿病性白内障患者术后 ARE 与屈光误差相关指标的相关性 Spearman 相关性分析结果显示, 患者术后 ARE 与屈光偏移相关指标 ACD、AL、HbA_{1c}、LT、眼压和 Km(ρ 分别为 0.428、0.685、0.756、0.365、0.489、-0.442, $P<0.05$) 均具有一定相关性(图 2)。

2.5 糖尿病性白内障患者术后 ARE 影响因素的多元线性回归模型 基于随机森林算法, 筛选糖尿病性白内障患者术后 ARE 的影响因素, 以患者术后是否发生屈光误差为因变量(Y), AL、ACD、眼压、LT、



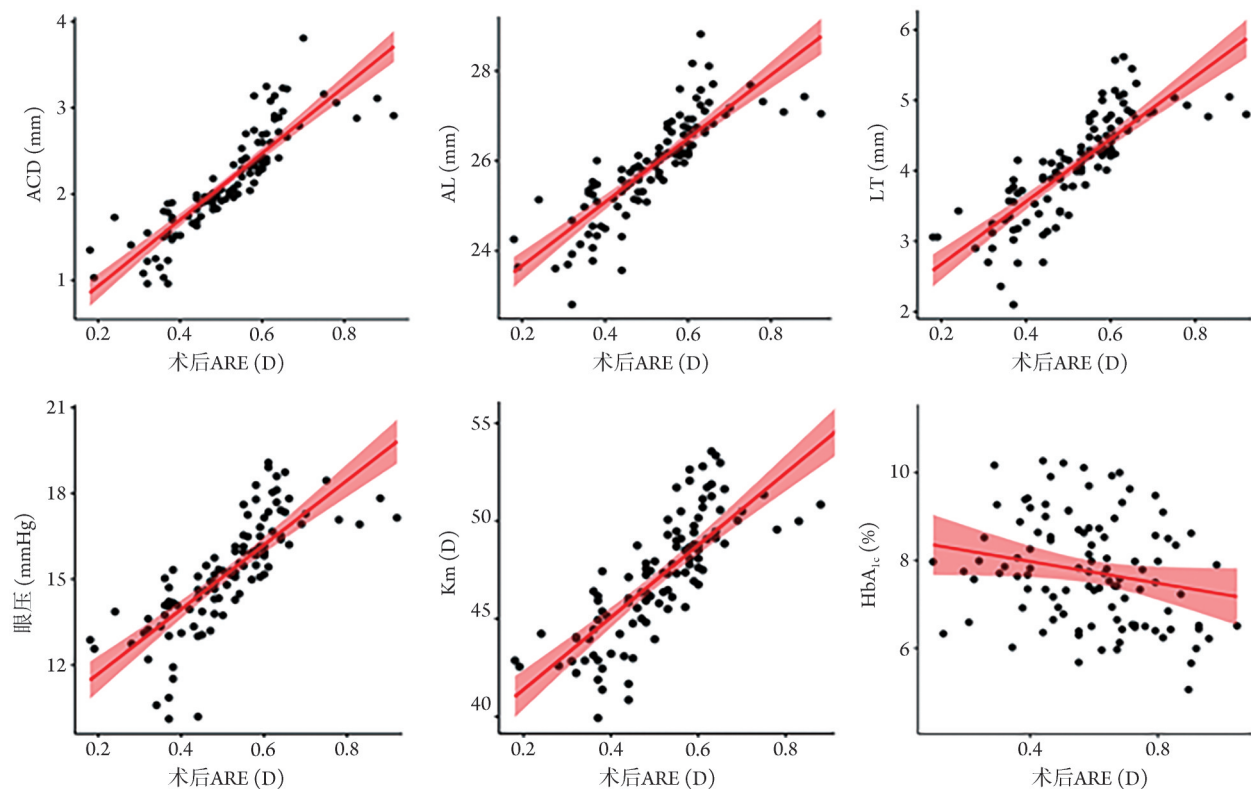


图2 糖尿病性白内障患者术后绝对屈光误差(ARE)与屈光误差相关指标的Spearman相关性分析

Fig.2 Spearman correlation analysis of postoperative absolute refractive error (ARE) and the indicators of refractive deviation in patients with diabetic cataract

Km和HbA1c为自变量，建立多元线性回归方程： $Y=21.342+0.456\times AL+0.496\times ACD+0.288\times \text{眼压}+0.318\times LT+0.368\times Km+0.387\times HbA1c$ ，回归模型具有统计学意义($P<0.05$ ，附表3，<https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.0367.2025.FJ>)；结果显示，AL、ACD、眼压、LT和Km均为影响术后ARE的相关因素，自变量可解释术后2个月ARE 87.72%的变异性。回归模型预测术后2个月ARE的预测值与实际值相关性较高($\rho=0.789$ ， $P<0.001$) (表3、附图1，<https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.0367.2025.0918FJ>)。

2.6 糖尿病性白内障患者术后屈光误差预测模型的

评价及验证

2.6.1 强影响点分析 线性回归分析的诊断结果显示，Cook距离均 <1 ，提示没有对模型参数估计有很强影响的数据点(附图2，<https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.0367.2025.FJ>)。

2.6.2 模型区分度评估 术后屈光偏移预测模型在训练集与验证集预测术后ARE的ROC曲线下面积(area under the curve, AUC)分别为0.792(95% CI 0.727~0.875)和0.788(95% CI 0.725~0.858)，特异度分别为0.815、0.811，敏感度分别为0.807、0.798，提示模型区分能力良好(图3A)。

表3 糖尿病性白内障患者术后绝对屈光误差(ARE)影响因素的多元线性回归分析结果

Tab.3 Multiple linear regression analysis of influencing factors to postoperative absolute refractive error (ARE) in patients with diabetic cataract

变量	系数	P	95%CI	容差	VIF
常量	21.342	<0.001	15.554~27.856	/	/
AL ≥ 26 mm	0.456	<0.001	0.229~0.597	0.934	1.071
ACD ≥ 2 mm	0.496	<0.001	-0.704~-0.356	0.790	1.266
眼压 ≥ 15 mmHg	0.288	<0.001	-0.495~-0.145	0.849	1.178
LT ≥ 4 mm	0.318	<0.001	0.174~0.578	0.724	1.381
Km ≥ 48 D	0.368	<0.001	-0.565~-0.245	0.673	1.485
HbA _{1c} $\geq 7.5\%$	0.387	<0.001	0.145~0.589	0.605	1.654

AL. 眼轴长度；ACD. 前房深度；LT. 晶状体厚度；Km. 平均角膜曲率；HbA_{1c}. 糖化血红蛋白

2.6.3 模型的预测精度评估 校准曲线拟合良好, 预测概率近似等于实际概率, 提示模型精确度较高(图3B)。

2.6.4 模型的临床可用性评价 结果显示, 在阈概率为0.1~0.9时, 预测模型的净收益更高。提示预测模型具有较高的临床收益(图3C)。

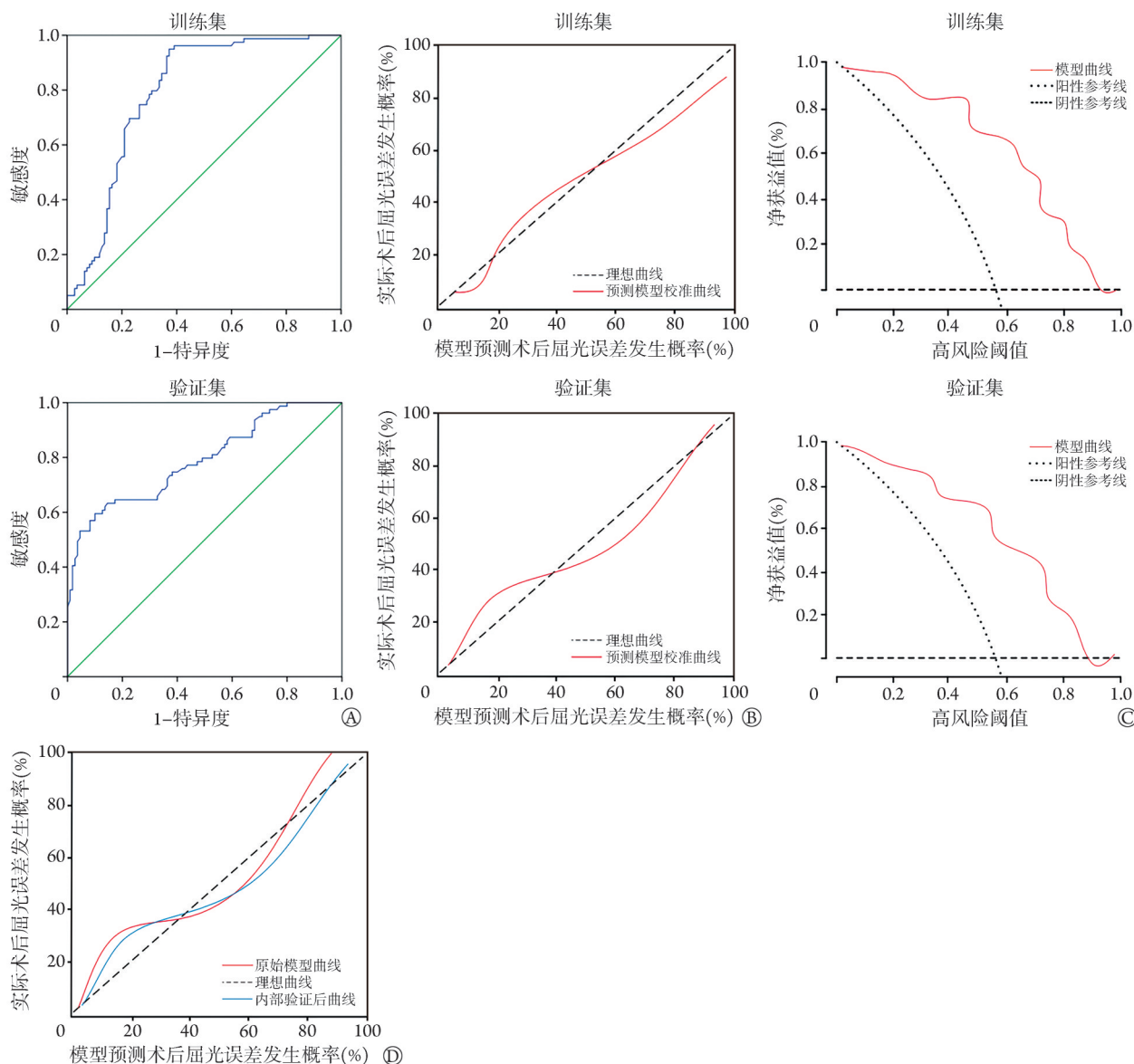
2.6.5 模型的内部验证 内部验证结果显示, 模型预测术后屈光误差的AUC为0.897, Brier值为0.108(图3D)。

3 讨论

白内障是常见的眼部致盲疾病, 随着糖尿病等基础疾病患病率的增加, 白内障患病率也随之增

加^[7]。多数白内障患者选择手术治疗^[8], 但部分患者术后出现屈光状态不稳定, 称为术后屈光误差。多位学者认为, 术后屈光误差的出现与IOL术后位置、ACD、眼轴长度、LT等因素密不可分^[9-10], 但对于术后屈光误差的影响因素尚无定论。因此, 对糖尿病性白内障患者术后屈光误差的影响因素进行分析, 并采取针对性的预防措施, 对稳定患者术后的屈光状态, 减少术后屈光误差的发生, 以及提高术后视觉质量均具有重要意义。

本研究探究糖尿病性白内障患者术后屈光误差的影响因素, 结合单因素分析结果与临床实际考量, 并采用随机森林算法进行变量筛选。对可能影响术后屈光误差的多项指标(如AL、ACD、HbA1c等)分



A. ROC曲线; B. 校准曲线; C. 决策曲线; D. 内部验证的ROC曲线

图3 糖尿病性白内障患者术后屈光误差预测模型的ROC曲线、校准曲线和决策曲线

Fig.3 ROC curve, calibration curve, and decision curve analysis of the prediction model for refractive deviation in patients with diabetic cataract

别进行单因素分析,初步筛选出与术后屈光误差存在关联的变量,再将这些变量纳入后续的多因素 Logistic 回归分析;同时,结合临床考虑,对于一些以往研究提示可能与术后屈光误差相关,或在临床实践中被认为具有重要意义的变量,即使其在单因素分析中未达到预设临界值,也在谨慎评估后纳入候选集,以避免遗漏重要因素。

随机森林算法是一种集成学习算法,通过构建大量决策树并对结果进行聚合,具有处理高维数据、避免过拟合及评估变量重要性的优势。对于每一个变量,随机森林算法可通过置换该变量的值,观察模型预测误差的增加程度,误差增加越多,则提示该变量的重要性越高。本研究利用随机森林算法对候选变量进行重要性排序,优先选择重要性较高的变量进入多因素 Logistic 回归模型。这种策略的优势在于:它能够处理高维数据,较好地避免过拟合;可捕捉变量之间的非线性关系和交互作用,优于传统的单因素分析和多因素 Logistic 回归;不需要对数据的分布做出严格假设,适用于多种类型的数据。通过随机森林算法筛选出的变量,再结合多因素 Logistic 回归分析等,最终确定影响患者术后屈光误差的危险因素。本研究结果显示,AL ≥ 26 mm、ACD ≥ 2 mm、HbA_{1c} $\geq 7.5\%$ 、眼压 ≥ 15 mmHg、LT ≥ 4 mm 和 Km ≥ 48 D 均为影响患者术后屈光误差的独立危险因素,术后 ARE 与屈光误差相关指标(ACD、HbA_{1c}、AL、LT、眼压和 Km)均具有一定的相关性。究其原因,可能与眼轴较长的患者悬韧带松弛、晶状体囊袋易皱缩,所以术后 IOL 轴向运动明显,易出现远视漂移。许泽鹏等^[11]报告,眼轴长度是影响白内障患者术后屈光误差的重要因素。白内障手术后患者眼部出现的炎症会导致囊膜收缩减少,造成前房参数尤其是 ACD 的变化。有报道指出,术后 ACD 是影响术后屈光状态的重要因素之一^[12-13];而术后 ACD 的变化与术前 ACD 值呈正相关^[14]。因此,术前 ACD 通过影响术后 ACD 对患者术后屈光误差产生影响。有研究指出,术前眼压越高,引起的 RE 改变越大,RE 与眼压波动有关^[15]。本研究结果显示,术前眼压 ≥ 15 mmHg 的患者,术后 ARE 明显大于术前眼压 < 15 mmHg 的患者。术前高眼压的患者的术后眼压降低,这一情况可能对患者 AL 产生影响,进而加重术后屈光误差。近年来有学者发现,晶状体拱高是影响白内障术后 RE 大小的重要因素,晶状体越厚,晶状体拱高越高,可能导致 RE 增大^[16],该结论与本研究结果一致。此外,晶状体越厚,瞳孔阻滞也越重,可能进一步加重眼压升高,从而对术后的屈光状态产生影响。Km 是决定角膜切口选择的重要因素,有研究显示,当 Km 发生 1.0 D 的变化时, IOL 屈光度亦

发生 1.3~1.6 D 的变化^[17]。据研究,患者 Km 越靠近 44.0 D 时,术后屈光误差越小^[18]。血糖控制不佳(HbA_{1c} $\geq 7.5\%$)与术后屈光误差显著相关。高血糖状态可能通过以下机制影响术后屈光稳定性:长期高血糖导致晶状体渗透压改变,加速晶状体囊膜纤维化,增加术后 IOL 偏位的风险;糖尿病微血管病变可能影响睫状体血流,加重术后炎症反应,导致前房深度动态变化;高血糖引起的角膜内皮功能紊乱可能间接影响 Km 的稳定性^[19]。因此,对于糖尿病性白内障患者,术前严格控糖(HbA_{1c} $< 7.5\%$)可能是减少术后屈光误差的重要策略。

针对上述危险因素,建议采取以下预防策略:(1)患者 AL ≥ 26 mm 时,术前应重点评估悬韧带状态和晶状体囊袋情况;在手术选择上,可考虑采用更稳定的 IOL 固定方式,如囊袋张力环植入,以减少术后 IOL 的轴向运动,降低远视漂移的发生风险;术后密切关注屈光状态变化,定期验光,及时发现并处理屈光预测误差。患者 ACD ≥ 2 mm 时,术前需精确测量 ACD,并结合其他眼部参数选择合适度数的 IOL;手术过程中,注意保护前房结构,避免过度损伤,以减少术后炎症反应对 ACD 的影响;术后可适当使用抗炎药物,减轻囊膜收缩,维持 ACD 稳定,以降低屈光预测误差的可能性。(2)糖尿病患者 HbA_{1c} $\geq 7.5\%$ 时,术前应积极与内分泌科合作,制定个性化的血糖控制方案,通过饮食调节、药物治疗等方式,努力将 HbA_{1c}控制在 7.5% 以下;术后也要加强血糖监测和管理,避免血糖大幅波动,以减少高血糖对晶状体囊膜纤维化、睫状体血流及角膜内皮功能的不良影响,稳定患者的屈光状态。(3)患者眼压 ≥ 15 mmHg 时,术前要全面评估眼压升高的原因,如是否存在青光眼等眼部疾病,以进行针对性治疗将眼压控制在合理范围内;手术过程中注意操作轻柔,减少对眼部组织的刺激和眼压波动;术后定期监测眼压变化,及时调整治疗方案,防止眼压波动对眼轴长度产生影响,进而减轻屈光预测误差。(4)患者 LT ≥ 4 mm 时,术前应精确测量 LT,选择合适的 IOL 类型和度数;术中注意清除晶状体皮质,避免残留组织引起炎症反应和晶状体拱高异常;术后密切观察晶状体位置变化,发现异常及时处理,以降低屈光误差的发生。(5)患者 Km ≥ 48 D 时,术前需根据精确测量的 Km 和其他眼部参数进行 IOL 度数的计算,必要时采用更精准的计算公式或个性化 IOL 选择方案;术中注意角膜切口的位置和大小,减少对角膜曲率的影响;术后定期行角膜地形图检查,监测 Km 的变化,及时调整治疗策略,以保证术后的视觉质量。

本研究有一定的局限性。首先,单中心研究且

纳入的样本量相对较小；其次，只分析了患者术后短期屈光误差与上述影响因素的关系，对患者术后长期屈光状态的随访不足；第三，尽管本研究纳入了LOCS分级，但未细化分析不同混浊类型(皮质、后囊下)的独立影响，这可能导致一定的混杂偏倚。后期还须继续扩大样本量，延长随访时间，同时可纳入合并其他眼部疾病(如青光眼、高度近视等)的白内障患者，以增强预测模型的效能。

综上所述， $AL \geq 26\text{mm}$ 、 $ACD \geq 2\text{mm}$ 、 $HbA_{1c} \geq 7.5\%$ 、眼压 $\geq 15\text{mmHg}$ 、 $LT \geq 4\text{mm}$ 和 $Km \geq 48\text{D}$ 是影响糖尿病性白内障患者白内障手术后屈光误差的独立危险因素；据此采取个性化的预防策略，有望减少患者术后屈光误差的发生，提升治疗效果。

【参考文献】

- [1] 施雨萌, 杨晋, 李国庆, 等. 糖尿病患者白内障的综合治疗研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2021, 21(3): 458-461.
- [2] 吴婵, 戴荣平, 王造文, 等. 糖尿病患者白内障摘除手术后前部缺血性视神经病变1例[J]. 中华眼科杂志, 2022, 58(1): 46-48.
- [3] 陈志刚, 刘高勤. IOL Master 700与A超联合角膜地形图测量对白内障术后屈光误差影响的比较[J]. 国际眼科杂志, 2022, 22(8): 1369-1372.
- [4] 黄瑶, 李倩, 陈燕云, 等. Haigis与SRK/T公式对病理性近视眼玻璃体切除联合白内障超声乳化手术IOL屈光度计算的准确性比较[J]. 眼科, 2022, 31(3): 190-194.
- [5] Aristodemou P, Sparrow JM, Kaye S. Evaluating refractive outcomes after cataract surgery[J]. Ophthalmology, 2019, 126(1): 13-18.
- [6] 孟倩丽, 张良, 谢洁. 几种糖尿病相关眼病的诊断治疗规范[J]. 眼科新进展, 2022, 42(4): 253-261.
- [7] 何明光, 王宁利. 有效白内障手术覆盖率和有效屈光不正矫正覆盖率[J]. 中华眼科杂志, 2022, 58(10): 859-862.
- [8] 苏琪, 张新, 赵燕, 等. 三种不同白内障超声乳化术切口治疗合并2型糖尿病白内障患者的临床疗效比较[J]. 中国医师杂志, 2021, 23(7): 1030-1033, 1038.
- [9] 杨丽, 兰长骏, 廖萱. 白内障术后屈光误差的原因和矫正[J]. 国际眼科杂志, 2022, 22(3): 429-433.
- [10] 蔡金彪, 王剑锋, 赵芑芑, 等. 高度近视并发性白内障术后屈光误差影响因素的研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2021, 21(10): 1720-1723.
- [11] 许泽鹏, 田妮, 李松调, 等. Olsen公式对高度近视合并白内障患者术后屈光力的预测性[J]. 国际眼科杂志, 2020, 20(8): 1388-1392.
- [12] 孙娟, 冯振华, 许辉. 年龄相关性白内障合并浅前房患者超声乳化术后的屈光状态分析[J]. 国际眼科杂志, 2020, 20(10): 1775-1779.
- [13] Shu ZM, Li FQ, Che ST, et al. Topical review: causes of refractive error after silicone-oil removal combined with cataract surgery[J]. Optom Vis Sci, 2020, 97(12): 1099-1104.
- [14] 叶霞, 叶芬, 赵娜, 等. 高度近视合并白内障患者不同术式术后屈光误差因素的分析[J]. 国际眼科杂志, 2023, 23(2): 320-324.
- [15] Wang SY, Azad AD, Lin SC, et al. Intraocular pressure changes after cataract surgery in patients with and without glaucoma: an informatics-based approach[J]. Ophthalmol Glaucoma, 2020, 3(5): 343-349.
- [16] Khan AM, Waldner DM, Luong M, et al. Stabilization of refractive error and associated factors following small incision phacoemulsification cataract surgery[J]. BMC Ophthalmol, 2022, 22(1): 13.
- [17] Garay-Aramburu G, Bergado-Mijangos R, Irizar-Amilleta R, et al. Risk factors for predicted refractive error after cataract surgery in clinical practice. Retrospective observational study[J]. Arch Soc Esp Oftalmol (Engl Ed), 2022, 97(3): 140-148.
- [18] Antwi-Adjei EK, Owusu E, Kobia-Acquah E, et al. Evaluation of postoperative refractive error correction after cataract surgery[J]. PLoS One, 2021, 16(6): e0252787.
- [19] Mrugacz M, Pony-Uram M, Bryl A, et al. Current approach to the pathogenesis of diabetic cataracts[J]. Int J Mol Sci, 2023, 24(7): 6317.

解放军医学杂志®

(责任编辑: 蒋铭敏)