

血清 PTX3 和 TLR4 及 SDF-1 对 T2DM 合并白内障患者术后并发干眼的预测价值

王 英,王阜蕾

引用:王英,王阜蕾. 血清 PTX3 和 TLR4 及 SDF-1 对 T2DM 合并白内障患者术后并发干眼的预测价值. 国际眼科杂志, 2026, 26(10):1800-1805.

基金项目:陕西省卫生健康科研计划项目 (No.2022C0128)
作者单位: (712000) 中国陕西省咸阳市第一人民医院眼科
作者简介:王英,女,主治医师,研究方向:白内障。
通讯作者:王阜蕾,男,硕士,副主任医师,研究方向:屈光、白内障. 20231339@qq.com
收稿日期: 2026-04-27 **修回日期:** 2026-08-18

摘要

目的:探究血清长正五聚蛋白 3 (PTX3)、Toll 样受体 4 (TLR4)、基质细胞衍生因子-1 (SDF-1) 对 2 型糖尿病 (T2DM) 合并白内障患者术后并发干眼 (DED) 的预测价值。

方法:前瞻性研究。选取 2024 年 2 月至 2025 年 8 月在本院接受超声乳化白内障吸除术以及人工晶状体植入术治疗的 T2DM 合并白内障患者,根据术后有无并发干眼 (DED) 分为 DED 组和 N-DED 组,并选择同期本院收治的 120 例单纯白内障患者 (白内障组) 为对照。酶联免疫吸附法 (ELISA) 检测血清 PTX3、TLR4、SDF-1 水平;多因素 Logistic 回归分析筛选影响 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的因素;受试者工作特征 (ROC) 曲线评估血清 PTX3、TLR4、SDF-1 对 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的预测价值;Bootstrap 重抽取法绘制校准曲线进行内部验证;决策曲线分析 (DCA) 曲线评估联合预测模型对 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的临床适用性。

结果:本研究纳入 T2DM 合并白内障组 120 例 120 眼 (DED 组 39 例 39 眼, N-DED 组 81 例 81 眼), 白内障组 120 例 120 眼。T2DM 合并白内障组中男 63 例,女 57 例,平均年龄 58.38 ± 7.11 岁。白内障组中男 65 例,女 55 例,平均年龄 58.62 ± 7.21 岁。DED 组男 21 例,女 18 例,平均年龄 58.61 ± 7.25 岁。N-DED 组男 42 例,女 39 例,平均年龄 58.27 ± 7.04 岁。T2DM 合并白内障组血清 PTX3、TLR4、SDF-1 水平均显著高于白内障组 (均 $P < 0.001$); DED 组 T2DM 病程、HbA1c、血清 PTX3、TLR4、SDF-1 水平均显著高于 N-DED 组, BUT 小于 N-DED 组 (均 $P < 0.001$); 血清 PTX3、TLR4、SDF-1 水平是影响患者术后并发 DED 的危险因素 (均 $P < 0.05$); 血清 PTX3、TLR4、SDF-1 水平三者联合预测 DED 的曲线下面积 (AUC) 显著高于单独预测 ($Z = 2.394, 2.538, 2.529$, 均 $P < 0.05$); 血清 PTX3、TLR4、SDF-1 联合模型预测 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的校准曲线与理想曲线较为一致;在高风险阈值 0.04-0.85 范围内,血清 PTX3、TLR4、SDF-1 联合模型预测 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的净获益率优于单独预测。

结论:术后并发 DED 的 T2DM 合并白内障患者中,血清 PTX3、TLR4、SDF-1 显著升高,且对患者术后并发 DED 有一定预测价值。

关键词:2 型糖尿病 (T2DM); 白内障; 长正五聚蛋白 3 (PTX3); Toll 样受体 4 (TLR4); 基质细胞衍生因子-1 (SDF-1); 干眼
DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.10.20

Predictive value of serum PTX3, TLR4, and SDF - 1 for postoperative dry eye in patients with T2DM complicated with cataract

Wang Ying, Wang Fulei

Foundation item: Shaanxi Provincial Health Research Program (No.2022C0128)
Department of Ophthalmology, the First People's Hospital of Xianyang, Xianyang 712000, Shaanxi Province, China
Correspondence to: Wang Fulei. Department of Ophthalmology, the First People's Hospital of Xianyang, Xianyang 712000, Shaanxi Province, China. 20231339@qq.com
Received:2026-04-27 Accepted:2026-08-18

Abstract

• **AIM:** To investigate the predictive value of serum pentraxin-3 (PTX3), Toll-like receptor 4 (TLR4), stromal cell-derived factor-1 (SDF-1) for postoperative dry eye disease (DED) in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) complicated with cataract.

• **METHODS:** Prospective study. T2DM patients with cataract who underwent phacoemulsification combined with intraocular lens implantation in the hospital from February 2024 to August 2025 were enrolled. Patients were divided into the DED group and the non-DED (N-DED) group according to the occurrence of postoperative DED. Meanwhile, another patients with simple cataract admitted during the same period were selected as the control group (cataract group). The levels of serum PTX3, TLR4, and SDF - 1 were measured by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Multivariate Logistic regression analysis was performed to screen the factors influencing the occurrence of postoperative DED in patients with T2DM complicated with cataract. Receiver operating characteristic (ROC) curves were used to evaluate the predictive value of serum PTX3, TLR4, and SDF-1 for postoperative DED in these patients. Internal

validation was performed by generating a calibration curve using the bootstrap resampling method. Decision curve analysis (DCA) was used to evaluate the clinical applicability of the combined prediction model for postoperative DED in these patients.

• **RESULTS:** This study included 120 patients in the T2DM with cataract group (39 cases in the DED group and 81 cases in the N-DED group) and 120 patients in the cataract group. In the T2DM with cataract group, there were 63 males and 57 females, with a mean age of 58.38 ± 7.11 y; in the cataract group, there were 65 males and 55 females, with a mean age of 58.62 ± 7.21 y; in the DED group, there were 21 males and 18 females, with a mean age of 58.61 ± 7.25 y; and in the N-DED group, there were 42 males and 39 females, with a mean age of 58.27 ± 7.04 y. The serum levels of PTX3, TLR4, and SDF-1 in the T2DM combined with cataract group were significantly higher than those in the simple cataract group (all $P < 0.001$). Meanwhile, the duration of T2DM, HbA1c, and serum levels of PTX3, TLR4, SDF-1 in the DED group were markedly elevated compared with the N-DED group, and the BUT was shorter than that in the N-DED group (all $P < 0.001$). Serum levels of PTX3, TLR4, and SDF-1 were identified as risk factors for postoperative DED in patients (all $P < 0.05$). The area under the curve (AUC) of combination of serum PTX3, TLR4, and SDF-1 levels in predicting DED was significantly higher than that of individual predictions ($Z = 2.394, 2.538, 2.529$, all $P < 0.05$). The calibration curve of the combined model of serum PTX3, TLR4, and SDF-1 for predicting postoperative DED in T2DM patients with cataract showed good agreement with the ideal curve. Within the high-risk threshold range of 0.04 to 0.85, the combined model of serum PTX3, TLR4, and SDF-1 in predicting the net benefit rate of postoperative DED in these patients was superior to the individual prediction.

• **CONCLUSION:** In T2DM patients with cataract who develop postoperative DED, serum PTX3, TLR4, and SDF-1 levels are significantly elevated and demonstrate certain predictive value for postoperative DED.

• **KEYWORDS:** type 2 diabetes mellitus (T2DM); cataract; pentraxin-3 (PTX3); Toll-like receptor 4 (TLR4); stromal cell-derived factor-1 (SDF-1); dry eye disease

Citation: Wang Y, Wang FL. Predictive value of serum PTX3, TLR4, and SDF-1 for postoperative dry eye in patients with T2DM complicated with cataract. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2026, 26(10):1800-1805.

0 引言

白内障是全球失明的主要原因之一,据世界卫生组织2019年世界视力报告显示,全球约有6 520万人因患白内障而遭受不同程度的视力障碍或失明^[1]。2型糖尿病(T2DM)作为常见代谢性疾病,不仅会增加患白内障的风险,还会影响白内障患者术后切口的愈合,引发术后并发症,其中干眼(DED)最为高发^[2]。DED术后发生率超1/3,易引起眼睛干燥以及发红等症状,严重影响患者术后视力恢复^[3]。因此,寻找可早期预测术后DED的生物标

记物,对改善患者术后预后至关重要。长正五聚蛋白3(PTX3)是一种多结构域糖蛋白,能够在炎症细胞因子刺激下由炎症和感染部位的免疫细胞表达,参与多种退行性和炎症性眼部疾病^[4]。Toll样受体4(TLR4)是膜结合蛋白、在启动和调节免疫反应中至关重要,TLR4相关通路上调会诱导和加剧炎症,在DED炎症反应中起关键作用^[5]。基质细胞衍生因子-1(SDF-1)又叫CXCL12,是一种趋化因子,在血管内皮中表达,对炎症细胞因子有趋化作用,参与炎症、氧化应激过程,在多种糖尿病并发症中发挥作用^[6]。基于PTX3、TLR4、SDF-1三指标均参与糖尿病及炎症相关病理过程,且与眼部疾病存在关联,推测其可能对T2DM合并白内障患者术后干眼的发生有一定影响。基于此,本研究拟通过检测T2DM合并白内障患者血清PTX3、TLR4、SDF-1水平,探究其与术后DED的相关性及联合预测价值,以期临床改善T2DM合并白内障患者手术恢复效果提供参考依据。

1 对象和方法

1.1 对象 前瞻性研究。纳入2024年2月至2025年8月在本院接受超声乳化白内障吸除术以及人工晶状体植入术治疗的T2DM合并白内障患者(T2DM合并白内障组),并选择同期本院收治的单纯白内障患者(白内障组)为对照。纳入标准:(1)参照T2DM^[7]和白内障^[8]诊断标准进行确诊;(2)患者均符合超声乳化白内障吸除术、人工晶状体植入术手术指征,且自愿接受手术治疗。排除标准:(1)合并糖尿病视网膜病变、角膜病变等其他眼部疾病;(2)进行过眼部手术;(3)患有1型糖尿病;(4)视力残疾患者;(5)合并恶性肿瘤、血液或免疫系统疾病;(6)术前已出现DED。本研究已取得医学伦理委员会审查批准[KY202305(伦)-100065]。所有参与者入组前均知晓研究目的,明确检测项目,自愿签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 临床资料收集 收集T2DM合并白内障患者性别、年龄、T2DM病程、白内障病程、白内障类型、翼状胬肉、视力、眼内压、角膜厚度、实验室指标[收缩压、舒张压、糖化血红蛋白(HbA1c)、空腹血糖、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)]、手术时长、手术切口位置、晶状体核硬度分级(参照Emery核硬度分级标准^[8])、泪膜破裂时间(BUT)等临床资料。

1.2.2 血清PTX3和TLR4及SDF-1水平检测 于术前24 h内采集所有患者肘部静脉血5 mL,置于-80℃冰箱中保存待测。使用ELISA试剂盒检测血清PTX3、TLR4、SDF-1水平,并按照PTX3试剂盒、TLR4试剂盒、SDF-1试剂盒操作步骤进行。

1.2.3 术后DED诊断 T2DM合并白内障患者术后1 wk参照《中国白内障围手术期干眼防治专家共识(2021年)》^[9]进行DED诊断,并根据是否并发DED分为DED组和N-DED组。

统计学分析:采用SPSS26.0统计软件进行分析,计数资料表示为 $n(\%)$,采用 χ^2 检验;计量资料检验后均符合正态分布,表示为 $\bar{x} \pm s$,采用独立样本 t 检验;构建多因素Logistic回归模型前,对单因素分析中具有统计学意义的指标进行多重共线性检验,将无明显共线性指标纳入多因素Logistic回归模型,分析影响T2DM合并白内障患者术

后并发 DED 的因素;受试者工作特征(ROC)曲线评估血清 PTX3、TLR4、SDF-1 对患者术后并发 DED 的预测效能,计算曲线下面积(AUC)并确定最佳截断值;相对危险度分析评估不同水平 PTX3、TLR4、SDF-1对患者术后并发 DED 的影响;Bootstrap 重抽取法绘制校准曲线进行内部验证;决策曲线分析(DCA)曲线评估联合预测模型预测患者术后并发 DED 的临床适用性。 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况 本研究纳入 T2DM 合并白内障组 120 例 120 眼,白内障组 120 例 120 眼。T2DM 合并白内障组中男 63 例,女 57 例,平均年龄 58.38 ± 7.11 岁。白内障组中男 65 例,女 55 例,平均年龄 58.62 ± 7.21 岁。两组性别、年龄比较差异无统计学意义(均 $P>0.05$),具有可比性。患者均完成随访及数据收集,无脱落或失访病例。

2.2 T2DM 合并白内障组和白内障组血清 PTX3 和 TLR4 及 SDF-1 水平比较 T2DM 合并白内障组血清 PTX3、TLR4、SDF-1 水平均显著高于白内障组(均 $P<0.001$),见表 1。

2.3 DED 组和 N-DED 组的临床资料及血清 PTX3、TLR4、SDF-1 水平比较 DED 组 T2DM 病程、HbA1c、血清 PTX3、TLR4、SDF-1 水平均显著高于 N-DED 组,BUT 小于 N-DED 组(均 $P<0.05$),性别、年龄、白内障病程、白内障类型、翼状胬肉、视力、眼内压、角膜厚度、收缩压、舒张压、空腹血糖、TC、TG、HDL-C、LDL-C、手术时长、手术切口位置、晶状体核硬度分级比较差异无统计学意义(均 $P>0.05$),见表 2。

2.4 影响 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的多因素分析 多重共线性检验结果显示,T2DM 病程、HbA1c、BUT 三者间 $VIF>5$,存在多重共线性,为避免结果偏倚,上述指标未纳入多因素 Logistic 回归模型,最终纳入血清 PTX3、TLR4、SDF-1(连续变量)作为自变量,以 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 情况(并发 = 1,未并发 = 0)为因变量,纳入多因素 Logistic 回归模型,结果显示,血清 PTX3、TLR4、SDF-1 水平是影响患者术后并发 DED 的危险因素(均 $P<0.05$),见表 3。

2.5 血清 PTX3 和 TLR4 及 SDF-1 对 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的预测价值 状态变量为 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 情况(并发 DED = 1,未并发 DED = 0),检验变量为血清 PTX3、TLR4、SDF-1,ROC 结果显示,血清 PTX3、TLR4、SDF-1 水平联合预测 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的 AUC 为 0.933,显著高于单一指标单独预测的 AUC(AUC = 0.813、0.808、0.804, $Z = 2.394$ 、2.538、2.529,均 $P<0.05$),见图 1,表 4。

2.6 血清 PTX3 和 TLR4 及 SDF-1 联合预测模型的内部验证 经 Bootstrap 重抽取 1 000 次验证,血清 PTX3、TLR4、SDF-1 联合模型预测 T2DM 合并白内障患者术后

并发 DED 的校准曲线与理想曲线较为一致,见图 2。
2.7 血清 PTX3 和 TLR4 及 SDF-1 联合模型预测 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的临床适用性 DCA 曲线显示,在高风险阈值 0.04-0.85 范围内,血清 PTX3、TLR4、SDF-1 联合模型预测 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的净获益率优于单独预测,见图 3。

3 讨论

白内障作为全球可逆性失明的主要原因,超声乳化白内障吸除术联合人工晶状体植入术是临床根治的核心方案,但术后并发症 DED 高发,严重影响患者视力恢复^[10]。对于合并 T2DM 的患者,高血糖引发的眼表微环境紊乱与炎症反应叠加手术创伤,术后 DED 发生风险远高于非糖尿病患者^[2,11]。当前临床多依赖 BUT、泪液分泌试验等主观或半客观指标进行术后 DED 的评估,缺乏早期量化预警工具^[11]。鉴于眼表炎症是 DED 发生的核心机制,筛选相关炎症标志物对预测 T2DM 合并白内障患者术后 DED 具有重要临床价值。

PTX3 作为 PTX 家族成员,是眼部炎症反应的重要调控因子,参与年龄相关性黄斑变性、糖尿病视网膜病变等眼部疾病的病理进程^[4]。在眼部炎症微环境中,IL-1 β 和脂肪生成可诱导 PTX3 大量产生,PTX3 可通过激活 P38/NF- κ B 信号通路,放大炎症级联反应,促进 IL-6、IL-8 等炎症因子释放,加剧眼表组织损伤^[12]。研究证实,PTX3 在糖尿病相关视网膜病变中异常高表达,可能通过调控血管内皮功能障碍与炎症浸润,加重眼部损伤^[13]。TLR4 是一种先天免疫中典型的模式识别受体,在眼表角膜上皮细胞、结膜上皮细胞及免疫细胞中广泛表达,是眼部炎症反应的关键启动因子^[14-15]。研究证实,在糖尿病白内障中,IL-6、IL-1 β 、TNF- α 等炎症因子激活 HMGB1 蛋白,同时激活其下游 TLR4/NF- κ B 通路,促进炎症反应,加重晶状体混浊与眼表损伤^[16]。而 TLR4/NF- κ B/NLRP3 信号通路异常激活可加速 DED 的发生^[17]。同时,眼表损伤和炎症通过刺激 HMGB1 释放,TLR4 作为其受体与之结合后,促进相关信号通路共同促进 DED 的发生^[15]。刘国英等^[18]研究证实在 DED 患者泪液中 TLR4 水平显著升高,本研究术后 DED 患者血清 TLR4 变化趋势与前人研究一致。SDF-1 作为趋化因子,能够促进中性粒细胞、单核细胞等免疫细胞向感染部位迁移,同时可与 CXCR4 结合,激活 PI3K-AKT 信号通路,促进炎症细胞因子释放,介导炎症反应^[19]。曲晓瑜等^[6]在糖尿病性白内障患者房水研究中发现,SDF-1 水平升高与白内障严重程度相关,提示其参与糖尿病眼部并发症的病理进程。既往研究表明,SDF-1 表达增加有助于在眼角膜发炎状态下 CXCR4 介导的常规树突状细胞的招募^[20]。本研究结果发现,T2DM 合并白内障患者中血清 PTX3、TLR4、SDF-1 显著高于单纯白内障患者,且术后伴 DED 患者中血清指标升高更为显著,均是影响术后 DED 发生的危险因素。提示 PTX3、

表 1 T2DM 合并白内障组和白内障组血清 PTX3 和 TLR4 及 SDF-1 水平比较					$\bar{x}\pm s$
组别	例数	PTX3 (ng/mL)	TLR4 (pg/mL)	SDF-1 (ng/mL)	
T2DM 合并白内障组	120	29.81 $\pm$ 4.37	25.00 $\pm$ 4.15	7.04 $\pm$ 1.06	
白内障组	120	24.36 $\pm$ 3.86	19.07 $\pm$ 3.32	5.82 $\pm$ 0.89	
<i>t</i>		10.239	12.223	9.656	
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	

表 2DED 组和 N-DED 组临床资料及血清 PTX3、TLR4、SDF-1 水平比较

指标	DED 组 (n = 39)	N-DED 组 (n = 81)	t/χ^2	P
性别(例,%)			0.042	0.838
男	21(53.8)	42(51.9)		
女	18(46.2)	39(48.1)		
年龄($\bar{x}\pm s$,岁)	58.61±7.25	58.27±7.04	0.246	0.807
T2DM 病程($\bar{x}\pm s$,a)	7.34±1.28	5.67±0.86	8.447	<0.001
白内障病程($\bar{x}\pm s$,mo)	13.54±2.41	13.21±2.35	0.715	0.476
白内障类型(眼,%)			3.985	0.136
皮质性白内障	5(12.8)	21(25.9)		
核性白内障	20(51.3)	38(46.9)		
囊下白内障	14(35.9)	22(27.2)		
翼状胬肉(眼,%)			3.526	0.060
有	21(53.8)	29(35.8)		
无	18(46.2)	52(64.2)		
视力($\bar{x}\pm s$,LogMAR)	0.43±0.09	0.47±0.12	1.845	0.068
眼内压($\bar{x}\pm s$,mmHg)	15.67±3.01	15.12±2.86	0.970	0.304
角膜厚度($\bar{x}\pm s$,μm)	538.24±61.05	544.38±63.51	0.502	0.616
收缩压($\bar{x}\pm s$,mmHg)	124.67±14.20	121.54±13.58	1.165	0.246
舒张压($\bar{x}\pm s$,mmHg)	91.05±10.28	88.64±9.61	1.258	0.211
HbA1c($\bar{x}\pm s$,%)	6.41±0.81	5.88±0.76	3.502	0.001
空腹血糖($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	7.25±1.12	6.89±0.96	1.821	0.071
TC($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	5.21±0.77	4.96±0.72	1.742	0.084
TG($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	1.84±0.31	1.75±0.26	1.667	0.098
HDL-C($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	1.11±0.18	1.18±0.20	1.853	0.066
LDL-C($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	2.88±0.47	2.76±0.44	1.369	0.174
手术时长($\bar{x}\pm s$,min)	24.37±3.57	23.67±3.46	1.027	0.306
手术切口位置(眼,%)			5.565	0.062
透明角膜切口	9(23.1)	7(8.6)		
角巩膜隧道切口	16(41.0)	32(39.5)		
巩膜隧道切口	14(35.9)	42(51.9)		
晶状体核硬度分级(眼,%)			0.034	0.853
I-Ⅲ级	19(48.7)	38(46.9)		
Ⅳ-V级	20(51.3)	43(53.1)		
BUT($\bar{x}\pm s$,s)	8.21±1.05	11.32±1.24	13.498	<0.001
PTX3($\bar{x}\pm s$,ng/mL)	33.93±5.13	27.83±4.01	7.110	<0.001
TLR4($\bar{x}\pm s$,pg/mL)	28.52±4.87	23.31±3.81	6.394	<0.001
SDF-1($\bar{x}\pm s$,ng/mL)	7.97±1.19	6.59±1.00	6.649	<0.001

表 3影响 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的多因素分析

变量	β	SE	Wald χ^2	OR	95%CI	P
常量	-6.215	2.243	7.677	0.002	-	0.002
PTX3	1.103	0.379	8.464	3.012	1.433-6.331	0.004
TLR4	1.053	0.332	10.065	2.867	1.496-5.496	0.002
SDF-1	1.009	0.366	7.601	2.743	1.339-5.620	0.006

表 4血清 PTX3、TLR4、SDF-1 预测 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的 ROC 结果

指标	敏感度(%)	特异性(%)	截断值	AUC	95%CI	约登指数
PTX3	66.67	85.19	30.72 ng/mL	0.813	0.726-0.900	0.519
TLR4	69.23	80.25	26.65 pg/mL	0.808	0.724-0.892	0.495
SDF-1	82.05	71.60	7.10 ng/mL	0.804	0.717-0.891	0.537
三者联合	82.05	95.06	-	0.933	0.886-0.980	0.771

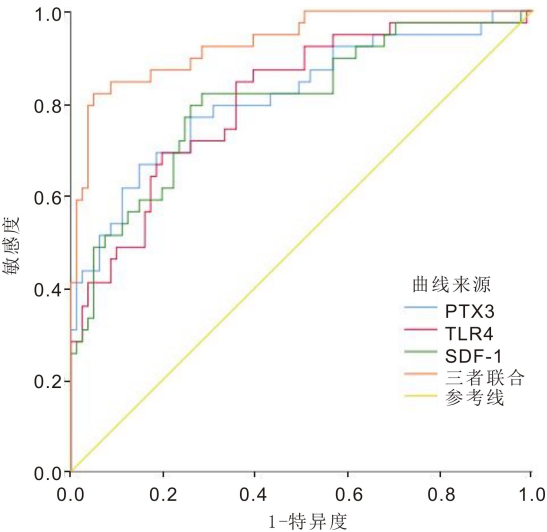


图1 血清 PTX3 和 TLR4 及 SDF-1 预测 T2DM 合并白内障患者术后并发 DED 的 ROC 曲线。

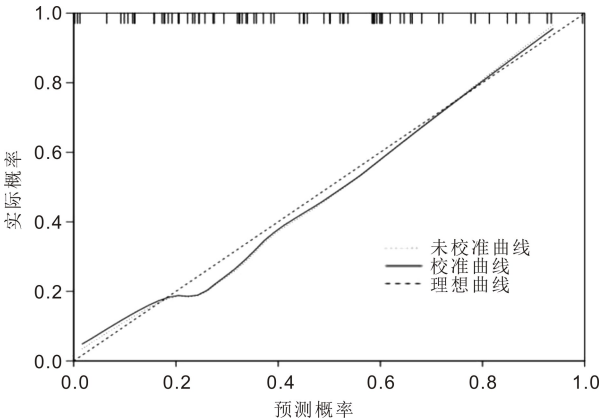


图2 血清 PTX3 和 TLR4 及 SDF-1 联合模型预测的校准曲线。

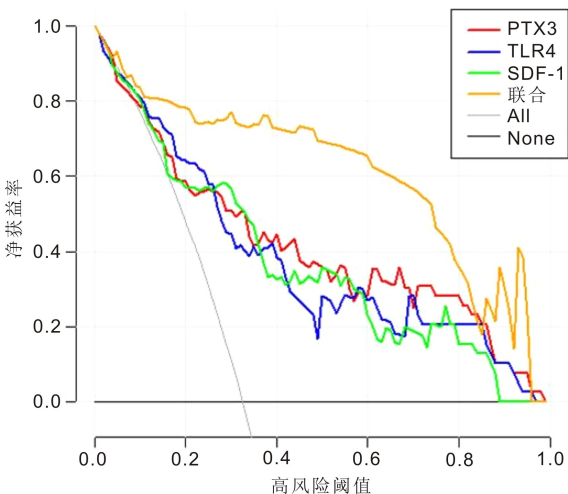


图3 血清 PTX3 和 TLR4 及 SDF-1 联合预测模型的 DCA 曲线。

TLR4、SDF-1 可能参与 T2DM 并发白内障过程,并影响患者术后 DED 的发生。推测可能 PTX3 高表达进一步激活 P38 及 NF- κ B 通路,炎症反应增强,导致晶状体损伤。在白内障手术过程中,免疫细胞被招募到受损的晶状体组织,诱导大量趋化因子和促炎细胞因子分泌,再次上调 PTX3 表达,导致眼表组织受损,诱发 DED^[12];TLR4 高表

达通过招募 MyD88 受体并触发 NF- κ B 介导的一系列炎症反应,调节 NLRP3 炎症小体和 IL-1 β 的表达,从而增加眼部炎症反应,导致 DED 的发生^[16-17];SDF-1 水平升高,能够通过招募免疫细胞向损伤部位或炎症部位迁移,同时结合 CXCR4 受体,激活炎症相关通路进一步促进炎症细胞因子释放,增加眼表炎症,诱发 DED^[19]。

本研究 ROC 曲线分析发现,血清 PTX3、TLR4、SDF-1 单独预测术后 DED 发生的 AUC 均在 0.8 附近,具有一定预测效能,而三者联合预测的 AUC 高达 0.933,显著优于单独预测,提示血清 PTX3、TLR4、SDF-1 联合预测患者术后 DED 发生效能较优,校准曲线进一步验证本研究模型的稳定性。推测三者可能通过影响 NF- κ B 炎症相关通路共同促进 DED 的发生,但其作用机制当前尚不明确,需后续进一步研究。DCA 曲线结果证实 PTX3、TLR4、SDF-1 联合预测模型在临床上有一定适用性,有望为临床提供参考依据。

目前已有部分研究采用多指标联合策略预测 T2DM 相关 DED,但指标组合与样本类型各有不同。王士云等^[21]检测泪液 IL-6、MMP-9 和 TGF- β 1 联合预测 T2DM 合并干眼的 AUC 为 0.905;郭子嘉等^[22]基于 TNF- α 、TGF- β 1、VEGF 构建联合预测模型的 AUC 则为 0.906。与之相比,本研究血清 PTX3、TLR4、SDF-1 三者联合的 AUC 达 0.933,预测效能优于上述报道。在指标选择上,上述研究多集中于经典炎症因子(如 IL-6、TNF- α 、VEGF)或临床参数,而本研究将 PTX3(参与补体和炎症调控)、TLR4(先天免疫受体)、SDF-1(趋化因子)三个血清学指标进行联合,机制覆盖更广。此外,既往联合预测研究多采用泪液样本,采集和检测的标准化程度不及血清,本研究采用术前血清检测,更易于在常规体检中推广,且可在手术决策阶段提前预警。本研究结果不仅验证了多指标联合策略的有效性,也为 T2DM 合并白内障患者术后 DED 的术前风险评估提供了一种简便、高效的血清学工具。本研究的创新性主要体现,将血清 PTX3、TLR4、SDF-1 三个分属炎症调控(PTX3)、先天免疫识别(TLR4)和免疫细胞趋化(SDF-1)不同通路节点的指标进行联合,用于 T2DM 合并白内障患者术后 DED 的术前风险预测;与同类研究多采用泪液样本相比,血清检测具有采集便捷、标准化程度高、术前常规体检即可同步完成的优势。

本研究存在以下局限性:(1)样本量相对有限,且为单中心设计,可能影响统计效力及结论的稳健性;(2)血清 PTX3、TLR4、SDF-1 检测仅于术前单一时间点完成,未动态监测术后指标变化趋势,故难以阐明三指标水平波动与 DED 发生发展之间的时间顺序及因果关系;(3)本研究未设置外部验证队列,联合预测模型的泛化能力尚待多中心、大样本数据加以验证;(4)本研究的术后 DED 预测模型仅基于 T2DM 合并白内障患者构建,未纳入非 T2DM 白内障患者进行验证,因此该预测模型是否同样适用于非 T2DM 白内障人群尚不明确。上述不足均有待后续研究进一步完善。

综上所述,在 T2DM 合并白内障患者血清中,PTX3、TLR4、SDF-1 上调,与患者术后并发 DED 密切相关,且对术后 DED 的发生有一定预测价值。从未来眼科应用视角来看,血清 PTX3、TLR4、SDF-1 检测具有便捷、无创的优势,可在术前常规体检中同步开展,帮助眼科医生识别高风险患者,对于指标水平升高的患者,术前可提前给予人

工泪液、抗炎滴眼液预处理,术中优化手术切口设计、缩短手术时长,术后加强抗炎治疗与泪膜保护,从而降低 DED 发生率。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:王英论文选题与修改,初稿撰写,文献检索,数据分析;王阜蕾选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

[1] Wang Y, Cao K, Guo ZX, et al. Effect of lens crystallins aggregation on cataract formation. *Exp Eye Res*, 2025, 253 (1): 110288–110297.

[2] Lv J, Cao CJ, Li W, et al. Tear inflammation related indexes after cataract surgery in elderly patients with type 2 diabetes mellitus. *World J Clin Cases*, 2023, 11(2):385–393.

[3] Yang X, Li LJ, Shen HP, et al. Effect of different incisions on dry eye symptoms after cataract surgery in diabetic patients. *BMC Ophthalmol*, 2025, 25(1):63–76.

[4] Stravalaci M, Ferrara M, Pathak V, et al. The long pentraxin PTX3 as a new biomarker and pharmacological target in age-related macular degeneration and diabetic retinopathy. *Front Pharmacol*, 2022, 12(1): 811344–811356.

[5] Yuan XX, Zhang Y, Wang SY, et al. Protective effects of insulin on dry eye syndrome *via* TLR4/NF- κ B pathway: based on network pharmacology and *in vitro* experiments validation. *Front Pharmacol*, 2024, 15(1):1449985.

[6] 曲晓瑜, 朱红娜, 苏安乐, 等. 糖尿病性白内障患者房水 SDF-1、MCP-1 及 sCD44 水平变化及其临床意义. *国际检验医学杂志*, 2025, 46(6):694–697,703.

[7] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南(2017 年版). *中国实用内科杂志*, 2018, 38(4):64–66.

[8] 杨培增, 范先群. *眼科学*. 第 9 版. 北京:人民卫生出版社, 2018:103.

[9] 中华医学会眼科学分会白内障及人工晶状体学组. 中国白内障围手术期干眼防治专家共识(2021 年). *中华眼科杂志*, 2021, 57(1):17–22.

[10] de Diego – García L, Rejas – González R, Latre IC, et al. Pharmacological strategies for cataract management: from molecular

targets to clinical translation. *Int J Mol Sci*, 2025, 26(12):5658–5682.

[11] 王晶, 张广斌. 0.05% 环孢素滴眼液治疗 2 型糖尿病合并白内障患者术后干眼症的效果. *深圳中西医结合杂志*, 2024, 34(19): 112–115.

[12] Kim MS, Park HY, Choi SH, et al. Pentraxin 3 mediates inflammation and adipogenesis in Graves orbitopathy pathogenesis. *J Mol Endocrinol*, 2024, 73(4):e240039–240052.

[13] Pathak V, Bertelli PM, Pedrini E, et al. Modulation of diabetes-related retinal pathophysiology by PTX3. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2024, 121(41):e2320034121.

[14] Stepp MA, Menko AS. Immune responses to injury and their links to eye disease. *Transl Res*, 2021, 236(1):52–71.

[15] Wang YZ, Xu ZQ, Wei LZ, et al. KGF-2 alleviates dry eye disease by regulating the HMGB1/TLR4 pathway. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2025, 66(4):28–41.

[16] 李鹤一, 刘厉严, 王佳. 夹竹桃麻素调节 HMGB1/TLR4/NF- κ B 信号通路对糖尿病白内障大鼠的改善作用及机制研究. *临床眼科杂志*, 2023, 31(5):459–463.

[17] Jiang KW, Zhang FL, Chen Y, et al. Fosfenopril attenuates inflammatory response in diabetic dry eye models by inhibiting the TLR4/NF- κ B/NLRP3 signaling pathway. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2024, 65(6):2–13.

[18] 刘国英, 侯江平, 吴幻, 等. 干眼患者结膜上皮细胞及泪液中 TLR4 和 NF- κ B 的表达及临床意义. *国际眼科杂志*, 2025, 25(6): 975–979.

[19] 王晓丽, 孟华. 血清 PCT、TNF- α 、SDF-1 水平单项及联合检测在跟骨骨折术后患者早期感染中的预测价值. *中国民康医学*, 2025, 37(11):131–133.

[20] Lopez MJ, Seyed – Razavi Y, Jamali A, et al. The chemokine receptor CXCR4 mediates recruitment of CD11c⁺ Conventional dendritic cells into the inflamed murine Cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2018, 59(13):5671–5681.

[21] 王士云, 成雅, 武传红, 等. 2 型糖尿病干眼症患者泪液 IL-6、MMP-9、TGF- β 1 表达及其临床意义. *现代生物医学进展*, 2024, 24(9):1672–1677.

[22] 郭子嘉, 杨到凤. 泪液肿瘤坏死因子- α 、转化生长因子- β 1、血管内皮生长因子在 2 型糖尿病继发干眼症风险中的预测价值. *海南医学*, 2025, 36(17):2511–2516.