

房水 SDF-1 与 ENA78 水平对 DR 患者玻璃体切割术后视力残疾的预测价值

徐曼¹, 郑嘉敏¹, 钟文金²

引用:徐曼,郑嘉敏,钟文金. 房水 SDF-1 与 ENA78 水平对 DR 患者玻璃体切割术后视力残疾的预测价值. 国际眼科杂志, 2026,26(3):493-498.

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目(No. 2022JM-584)

作者单位:¹(710000)中国陕西省西安市人民医院(西安市第四医院)眼底外科;²(716000)中国陕西省延安市人民医院眼科

作者简介:徐曼,硕士,副主任医师,研究方向:糖尿病视网膜病变、黄斑区疾病和视网膜脱离的手术治疗。

通讯作者:郑嘉敏,硕士,主治医师,研究方向:玻璃体与视网膜疾病. zhengjiamin93@163.com

收稿日期:2025-08-26 修回日期:2026-01-23

摘要

目的:探讨房水基质细胞衍生因子 1(SDF-1)、中性粒细胞激活肽-78(ENA78)水平对糖尿病视网膜病变(DR)患者玻璃体切割术后视力残疾的预测价值。

方法:选取 2022 年 3 月至 2024 年 3 月本院眼科收治的进行玻璃体切割术治疗的 DR 患者(研究组),根据术后 1 a 随访裸眼视力检查结果分为视力残疾组和视力良好组。另纳入同期在本院治疗的白内障患者为对照组。酶联免疫吸附(ELISA)法检测房水 SDF-1、ENA78 水平, Pearson 法分析相关性;多因素 Logistic 回归分析影响 DR 患者术后视力残疾的因素;相对危险度分析不同房水 SDF-1、ENA78 水平对 DR 患者术后视力残疾的影响;受试者工作特征(ROC)曲线分析房水 SDF-1、ENA78 水平对 DR 患者术后视力残疾的预测价值。

结果:研究组纳入 156 例 156 眼,男 87 例,女 69 例,平均年龄 60.65 ± 8.91 岁;对照组纳入 91 例 91 眼,男 53 例,女 38 例,平均年龄 58.72 ± 8.43 岁。研究组房水 SDF-1、ENA78 水平较对照组均升高($P < 0.001$);根据术后 1 a 随访裸眼视力检查结果将研究组分为视力残疾组($n = 49$)和视力良好组($n = 107$),视力残疾组男 28 例,女 21 例,平均年龄 63.73 ± 7.41 岁;视力良好组男 59 例,女 48 例,平均年龄 59.24 ± 8.47 岁。视力残疾组年龄以及 HbA1c 水平均高于视力良好组(均 $P < 0.05$);与视力良好组相比,视力残疾组房水 SDF-1、ENA78 水平均显著升高(均 $P < 0.05$);研究组房水 SDF-1、ENA78 水平与 HbA1c 均呈正相关($r = 0.314, 0.362$, 均 $P < 0.05$);房水 SDF-1($OR = 2.936, 95\% CI: 1.628 - 5.296$)、ENA78($OR = 3.092, 95\% CI: 1.738 - 5.502$)水平升高是影响 DR 患者术后发生视力残疾的危险因素(均 $P < 0.05$);SDF-1、ENA78 高水平分别使术后发生视力残疾的风险增加至低水平组的 1.958 倍与 2.030 倍;房水 SDF-1、ENA78 二者联合预测 DR 患者术后视力残疾的曲线下面积(AUC)为 0.936,联合优于房水 SDF-1、

ENA78 各自单独预测($Z_{二者联合-SDF-1} = 2.850, Z_{二者联合-ENA78} = 2.445$, 均 $P < 0.05$)。

结论:房水 SDF-1、ENA78 水平升高是 DR 患者术后视力残疾的危险因素,SDF-1、ENA78 二者联合对预测 DR 患者术后视力残疾有较高的临床应用价值。

关键词:糖尿病视网膜病变(DR);玻璃体切割术;基质细胞衍生因子 1(SDF-1);中性粒细胞激活肽-78(ENA78);视力残疾;预测

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.3.23

Predictive value of aqueous humor stromal cell - derived factor - 1 and epithelial neutrophil-activating peptide-78 levels for visual impairment following vitrectomy in patients with diabetic retinopathy

Xu Man¹, Zheng Jiamin¹, Zhong Wenjin²

Foundation item: Shaanxi Provincial Natural Science Basic Research Program (No.2022JM-584)

¹Department of Fundus Surgery, Xi'an People's Hospital (Xi'an Fourth Hospital), Xi'an 710000, Shaanxi Province, China;

²Department of Ophthalmology, Yan'an People's Hospital, Yan'an 716000, Shaanxi Province, China

Correspondence to: Zheng Jiamin. Department of Fundus Surgery, Xi'an People's Hospital (Xi'an Fourth Hospital), Xi'an 710000, Shaanxi Province, China. zhengjiamin93@163.com

Received:2025-08-26 Accepted:2026-01-23

Abstract

• AIM: To investigate the predictive value of aqueous humor stromal cell - derived factor - 1 (SDF - 1) and epithelial neutrophil - activating peptide - 78 (ENA78) for visual impairment following vitrectomy in patients with diabetic retinopathy (DR).

• METHODS: Patients with DR who underwent vitrectomy in the ophthalmology department of our hospital from March 2022 to March 2024 were enrolled as study group. According to the results of uncorrected visual acuity examination during the 1-year follow-up after surgery, they were further divided into visual impairment group and good visual acuity group. In addition, patients with cataracts who were treated in our hospital during the same period were recruited as control group. The levels of SDF-1 and ENA78 in aqueous humor were detected by

enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Pearson correlation analysis was used to evaluate the correlation of indicators. Multivariate Logistic regression analysis was performed to identify the influencing factors of postoperative visual impairment in DR patients. Relative risk analysis was conducted to assess the impact of different aqueous humor SDF-1 and ENA78 levels on postoperative visual impairment in DR patients. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was applied to determine the predictive value of aqueous humor SDF-1 and ENA78 levels for postoperative visual impairment in DR patients.

• **RESULTS:** Totally 156 cases (156 eyes) were enrolled in the study group, including 87 males and 69 females, with a mean age of 60.65 ± 8.91 years old; and 91 cases (91 eyes) were enrolled in the control group, including 53 males and 38 females, with a mean age of 58.72 ± 8.43 years old. The levels of SDF-1 and ENA78 in aqueous humor of the study group were significantly higher than those of the control group ($P < 0.001$). According to the results of uncorrected visual acuity during the 1-year follow-up after surgery, the study group was further divided into the visual impairment group ($n = 49$) and the good visual acuity group ($n = 107$), including 28 males and 21 females in the visual impairment group, with a mean age of 63.73 ± 7.41 years, and 59 males and 48 females in the good visual acuity group, with a mean age of 59.24 ± 8.47 years. The age and glycated hemoglobin (HbA1c) levels of the visual impairment group were higher than those of the good visual acuity group (all $P < 0.05$). Compared with the good visual acuity group, the levels of SDF-1 and ENA78 in aqueous humor of the visual impairment group were significantly elevated (all $P < 0.05$). A positive correlation was found in the study group between the levels of SDF-1, ENA78 in aqueous humor and HbA1c ($r = 0.314, 0.362$, all $P < 0.05$). Elevated levels of aqueous humor SDF-1 ($OR = 2.936$, 95% CI : 1.628-5.296) and ENA78 ($OR = 3.092$, 95% CI : 1.738-5.502) were identified as risk factors for postoperative visual impairment in DR patients (all $P < 0.05$). High levels of SDF-1 and ENA78 increased the risk of postoperative visual impairment by 1.958-fold and 2.030-fold compared with the low-level groups, respectively; the area under the curve (AUC) of combined detection of aqueous humor SDF-1 and ENA78 for predicting postoperative visual impairment in DR patients was 0.936, which was superior to the predictive value of SDF-1 or ENA78 alone ($Z_{\text{combination-SDF-1}} = 2.850$, $Z_{\text{combination-ENA78}} = 2.445$, all $P < 0.05$).

• **CONCLUSION:** Elevated levels of aqueous humor SDF-1 and ENA78 are risk factors for postoperative visual impairment in DR patients, and the combined detection of SDF-1 and ENA78 has high clinical application value for predicting postoperative visual impairment in DR patients.

• **KEYWORDS:** diabetic retinopathy (DR); vitrectomy; stromal cell-derived factor 1 (SDF-1); epithelial neutrophil activating peptide-78 (ENA78); visual impairment; prediction

Citation: Xu M, Zheng JM, Zhong WJ. Predictive value of aqueous humor stromal cell-derived factor-1 and epithelial neutrophil-activating peptide-78 levels for visual impairment following vitrectomy in patients with diabetic retinopathy. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2026,26(3):493-498.

0 引言

糖尿病视网膜病变(diabetic retinopathy, DR)是糖尿病的主要眼部并发症,全球范围内,有超过1亿人患有DR,部分DR患者因病情进展至增殖性DR而导致严重视力丧失甚至失明^[1-2]。玻璃体切割术作为治疗增殖性DR的重要手段之一,能够有效清除玻璃体出血、牵拉性视网膜脱离等病理改变,改善患者视功能^[3]。然而,尽管手术技术不断进步,术后视力恢复情况仍存在明显个体差异,部分患者在手术后仍出现中重度视力残疾^[4]。因此,探索可预测术后视力情况的生物指标,对指导临床治疗和改善患者预后具有重要意义。基质细胞衍生因子1(stromal cell-derived factor 1, SDF-1)是一种CXC型趋化因子,广泛参与血管新生、炎症细胞募集及组织修复等生理病理过程^[5]。已有研究表明,SDF-1在糖尿病患者的玻璃体和房水中表达显著升高,并与视网膜新生血管形成密切相关^[6]。中性粒细胞激活肽-78(epithelial neutrophil activating peptide-78, ENA78)是一种中性粒细胞趋化因子,主要由上皮细胞及内皮细胞分泌,能够强效吸引中性粒细胞并参与炎症过程^[7],其在DR中的具体作用尚未完全阐明。因此,本研究通过检测DR患者在玻璃体切割术前房水中SDF-1、ENA78水平,评估二者在术后视力恢复预测中的潜在价值,希望通过本研究为降低DR患者术后视力残疾的发生率提供参考。

1 对象和方法

1.1 对象 本研究为前瞻性队列研究,选取2022年3月至2024年3月本院眼科收治的进行玻璃体切割术治疗的DR患者作为研究组,纳入标准:(1)DR患者均为2型糖尿病(T2DM),符合《中国2型糖尿病防治指南(2020年版)》^[8]中T2DM的诊断标准;(2)眼底检查或眼科影像学(如FFA/OCT)确诊为增殖性DR,并符合玻璃体切割术的临床指征(如持续性玻璃体积血、牵拉性改变、黄斑受累等);均符合《糖尿病视网膜病变防治专家共识》^[9]中增殖性DR的诊断标准;(3)均首次接受玻璃体切割术。排除标准:(1)既往有眼科手术史或眼外伤史;(2)合并其他眼病(如青光眼、黄斑病变、白内障、葡萄膜炎等);(3)其他系统性疾病(如免疫性疾病、感染性疾病、恶性肿瘤);(4)合并糖尿病心脑血管病变或神经病变者;(5)无法配合完成全程随访者。另纳入同期在本院治疗的白内障患者为对照组。选择白内障患者作为对照组的依据是:其眼内无明显炎症或缺血改变,房水中炎症因子表达相对稳定,术中采样安全、可控,适合作为本研究中房水炎症因子水平的对照人群。本研究取得医学伦理委员会审查批准(批准号:2022-014),所有参与者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 临床资料收集 收集DR患者的临床资料,包括年龄、性别、糖尿病病程、吸烟史、饮酒史、合并症、DR病变程

度、眼压;实验室指标:空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)、糖化血红蛋白(glycated hemoglobin A1c, HbA1c)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、血肌酐(serum creatinine, Scr)、尿白蛋白(urine albumin, Alb)、谷氨酰转氨酶(γ -glutamyl transferase, GGT)、天冬氨酸转氨酶(aspartate aminotransferase, AST)、丙氨酸转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)、白细胞计数(white blood cell count, WBC)、血小板计数(platelet count, PLT)、淋巴细胞计数(lymphocyte count, LYM)、中性粒细胞计数(neutrophil count, NEU)。

1.2.2 房水 SDF-1 及 ENA78 水平检测 DR 患者在玻璃体切割术前 1 d,通过前房穿刺术在无菌条件下采集房水样本(0.1-0.2 mL),对照组患者则在白内障手术开始前、制作角膜切口前行房水采集。置于无菌离心管,并立即转入-80℃冷冻条件保存。检测前将标本从-80℃取出,置于4℃条件下缓慢解冻约30 min,随后于室温(22-25℃)平衡10 min完成复温。样本混匀后按ELISA试剂盒说明书要求进行检测,采用武汉菲恩特生物 SDF-1 试剂盒(EH3755)及武汉华美生物 ENA78 试剂盒(CSB-E08178H),所有操作均严格遵循试剂盒标准流程。

1.2.3 DR 患者术后视力残疾标准及随访分组 患者在接受玻璃体切割术后,进行为期1 a的随访,随访方式包括电话访问及门诊复查。以术眼的最佳矫正视力作为评估指标,视力分级依据文献[10]中的标准进行评估,将视力残疾定义为低视力或盲。低视力包括:一级低视力:最佳矫正视力(best-corrected visual acuity, BCVA)为0.05-0.1;二级低视力:BCVA为 ≥ 0.1 且 < 0.3 。盲包括:一级盲:BCVA < 0.02 或视野半径 $< 5^\circ$,包括无光感者;二级盲:BCVA介于0.02- < 0.05 之间,或视野半径 $< 10^\circ$ 。本研究仅评估接受玻璃体切割术的术眼视力,以排除双眼视力差异对分析结果的干扰。根据手术眼在术后1 a随访时是否符合上述视力残疾标准,将患者分为视力残疾组和视力良好组。

统计学分析:采用SPSS 25.0处理数据;计量资料用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用独立样本 *t* 检验;计数资料用 *n*(%)表示,采用 χ^2 检验;Pearson法分析相关性;多因素 Logistic 回归分析影响 DR 患者术后视力残疾的因素;相对危险度分析不同房水 SDF-1、ENA78 水平对 DR 患者术后视力残疾的影响;受试者工作特征(receiver operating

characteristic, ROC)曲线分析房水 SDF-1、ENA78 水平对 DR 患者术后视力残疾的预测价值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 研究组和对照组一般资料及房水 SDF-1 与 ENA78 水平比较 纳入患者均完成全程1 a的随访,随访完成率为100%。进行玻璃体切割术治疗的 DR 患者156例156眼为研究组,另纳入同期在本院治疗的白内障患者91例91眼为对照组,两组一般资料具有可比性($P > 0.05$),研究组房水 SDF-1、ENA78 水平较对照组相比均升高(均 $P < 0.001$),见表1。

2.2 视力残疾组和视力良好组临床资料比较 根据术后1 a随访裸眼视力检查结果,将研究组分为视力残疾组49例49眼和视力良好组107例107眼,视力残疾组年龄以及 HbA1c 水平均高于视力良好组(均 $P < 0.05$);两组其他资料比较,差异无统计学意义(均 $P > 0.05$),见表2。

2.3 视力残疾组和视力良好组房水 SDF-1 与 ENA78 水平比较 与视力良好组相比,视力残疾组房水 SDF-1、ENA78 水平均显著升高(均 $P < 0.001$),见表3。

2.4 研究组房水 SDF-1 和 ENA78 水平与 HbA1c 的相关性分析 Pearson法相关性分析发现,研究组房水 SDF-1、ENA78 水平与 HbA1c 均呈正相关($r = 0.314, 0.362$,均 $P < 0.05$)。

2.5 多因素 Logistic 回归分析影响 DR 患者术后视力残疾的因素 以 DR 患者术后视力情况为因变量(视力残疾=1,视力良好=0),以表2、3中 $P < 0.05$ 的指标为自变量进行 Logistic 回归,结果显示:房水 SDF-1 ($OR = 2.936, 95\% CI: 1.628 - 5.296$)、ENA78 ($OR = 3.092, 95\% CI: 1.738 - 5.502$)水平升高是 DR 患者术后发生视力残疾的危险因素(均 $P < 0.001$),见表4。

2.6 房水 SDF-1 与 ENA78 水平对 DR 患者术后视力残疾的相对危险度分析 以156例 DR 患者为研究对象,依据其房水 SDF-1、ENA78 水平的平均值将患者分为高、低水平组,结果显示,SDF-1、ENA78 高水平分别使术后发生视力残疾的风险增加至低水平组的1.958倍与2.030倍(均 $P < 0.05$),见表5。

2.7 房水 SDF-1 与 ENA78 水平对 DR 患者术后视力残疾的预测价值 房水 SDF-1、ENA78 二者单独预测 DR 患者术后视力残疾的曲线下面积(area under the curve, AUC)为0.815、0.833,联合预测的 AUC 为0.936,联合优于房水 SDF-1、ENA78 各自单独预测($Z_{二者联合-SDF-1} = 2.850, Z_{二者联合-ENA78} = 2.445$,均 $P < 0.05$),见表6,图1。

表1 研究组和对照组一般资料及房水 SDF-1 与 ENA78 水平比较

指标	研究组(<i>n</i> = 156)	对照组(<i>n</i> = 91)	<i>t</i> / χ^2	<i>P</i>
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	60.65 \pm 8.91	58.72 \pm 8.43	1.675	0.095
性别(例,%)			0.143	0.705
男	87(55.8)	53(58.2)		
女	69(44.2)	38(41.8)		
SDF-1($\bar{x} \pm s$, ng/mL)	6.61 \pm 1.59	3.14 \pm 0.67	19.805	<0.001
ENA78($\bar{x} \pm s$, ng/mL)	27.56 \pm 6.24	13.62 \pm 2.89	20.079	<0.001

注:研究组为进行玻璃体切割术治疗的 DR 患者;对照组为同期白内障患者。

表2 视力残疾组和视力良好组临床资料比较

指标	视力残疾组(<i>n</i> =49)	视力良好组(<i>n</i> =107)	<i>t</i> / <i>χ</i> ²	<i>P</i>
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	63.73±7.41	59.24±8.47	3.192	0.002
性别(例, %)			0.055	0.815
男	28(57.1)	59(55.1)		
女	21(42.9)	48(44.9)		
糖尿病病程($\bar{x} \pm s$, a)	10.63±2.15	10.02±1.74	1.884	0.062
吸烟史(例, %)	10(20.4)	19(17.8)	0.156	0.693
饮酒史(例, %)	8(16.3)	13(12.2)	0.503	0.478
合并症(例, %)				
高血压(例, %)	13(26.5)	20(18.7)	1.238	0.266
冠心病(例, %)	19(38.8)	29(27.1)	2.150	0.143
高脂血症(例, %)	17(34.7)	26(24.3)	1.819	0.177
眼压($\bar{x} \pm s$, mmHg)	15.75±2.61	15.10±2.36	1.544	0.125
FBG($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	8.64±1.39	8.37±1.15	1.273	0.205
HbA1c($\bar{x} \pm s$, %)	8.16±0.97	7.49±0.86	4.336	<0.001
TC($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	4.81±0.62	4.63±0.71	1.527	0.129
TG($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	1.82±0.31	1.76±0.28	1.201	0.232
HDL-C($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	1.03±0.19	1.06±0.21	0.853	0.395
LDL-C($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	3.24±0.75	3.12±0.69	0.981	0.328
Scr($\bar{x} \pm s$, μmol/L)	122.51±19.17	118.64±18.01	1.221	0.224
Alb($\bar{x} \pm s$, mg/L)	43.69±6.81	43.07±5.73	0.590	0.556
GGT($\bar{x} \pm s$, U/L)	34.58±9.29	33.47±9.04	0.706	0.481
AST($\bar{x} \pm s$, U/L)	23.76±6.14	22.37±5.96	1.339	0.182
ALT($\bar{x} \pm s$, U/L)	27.31±6.82	25.51±6.58	1.568	0.119
WBC($\bar{x} \pm s$, 10 ⁹ 个/L)	6.57±1.93	5.96±1.78	1.934	0.055
PLT($\bar{x} \pm s$, 10 ⁹ 个/L)	237.27±56.47	253.26±65.61	1.474	0.143
LYM($\bar{x} \pm s$, 10 ⁹ 个/L)	1.72±0.29	1.81±0.34	1.604	0.111
NEU($\bar{x} \pm s$, 10 ⁹ 个/L)	3.87±1.12	3.71±1.16	0.808	0.420

注:视力残疾组为术后1 a 随访时术眼符合视力残疾标准的研究组患者;视力良好组为术后1 a 随访时术眼不符合视力残疾标准的研究组患者。

表3 视力残疾组和视力良好组房水 SDF-1 与 ENA78 水平比较

($\bar{x} \pm s$, ng/mL)

组别	<i>n</i>	SDF-1	ENA78
视力残疾组	49	7.91±1.65	32.87±6.92
视力良好组	107	6.02±1.34	25.13±4.56
<i>t</i>		7.589	8.298
<i>P</i>		<0.001	<0.001

表4 Logistic 回归分析影响 DR 患者术后视力残疾的因素

指标	β	<i>SE</i>	Wald	<i>P</i>	<i>OR</i>	95% <i>CI</i>
年龄	0.387	0.229	2.850	0.091	1.472	0.940-2.306
HbA1c	0.614	0.325	3.564	0.059	1.847	0.977-3.492
SDF-1	1.077	0.301	12.804	<0.001	2.936	1.628-5.296
ENA78	1.129	0.294	14.742	<0.001	3.092	1.738-5.502

表5 房水 SDF-1 与 ENA78 水平对 DR 患者术后视力残疾的相对危险度分析

指标	视力残疾组(<i>n</i> =49)	视力良好组(<i>n</i> =107)	相对危险度(95% <i>CI</i>)	χ^2	<i>P</i>
SDF-1	高水平	31(63.27)	1.958(1.202-3.191)	7.784	0.005
	低水平	18(36.73)			
ENA78	高水平	29(59.18)	2.030(1.266-3.256)	9.019	0.003
	低水平	20(40.82)			

表6 房水 SDF-1 与 ENA78 水平对 DR 患者术后视力残疾的预测价值

变量	AUC	截断值 (ng/mL)	95% CI	敏感性 (%)	特异性 (%)	Youden 指数
SDF-1	0.815	7.34	0.745-0.872	67.35	88.79	0.561
ENA78	0.833	30.68	0.765-0.888	69.39	90.65	0.600
二者联合	0.936		0.885-0.969	91.84	84.11	0.760

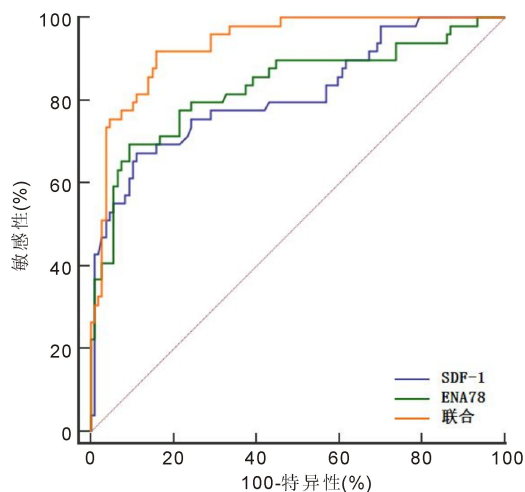


图1 房水 SDF-1 与 ENA78 水平预测 DR 患者术后视力残疾的 ROC 曲线。

3 讨论

DR 患者在接受玻璃体切割术治疗后,其视力通常可获得不同程度的改善,据报道,术后视力改善率为 52%–84%,其中视力提高至 0.1 以上者占比为 25%–55%^[11]。但术后部分患者仍存在不同程度的视力残疾,显著影响患者日常生活质量,还可能引发心理障碍、社会功能下降及经济负担加重等多重问题^[12]。本研究中,对 156 例接受玻璃体切割术的 DR 患者进行 1 a 随访,结果有 49 例发生视力残疾,约占 31.4%,提示即使在接受积极手术干预后,DR 患者依然存在较高的视力残疾风险。因此,本研究以房水中的 SDF-1 和 ENA78 为切入点,旨在探讨二者作为视力残疾早期预测指标的潜在价值,为进一步优化 DR 术后个体化治疗策略提供理论依据。

SDF-1 主要通过受体 CXCR4 结合发挥趋化与血管调控作用,参与胚胎发育、干细胞募集、组织修复及炎症反应调控^[13]。在视网膜疾病中,SDF-1 被认为是缺血状态下最关键的趋化因子之一,视网膜缺氧可通过 HIF-1 α 通路显著上调 SDF-1 表达,从而促进骨髓来源的内皮祖细胞及炎症细胞向缺血区聚集,诱导病理性新生血管形成^[14]。本研究结果显示,DR 患者房水中 SDF-1 水平高于对照组,提示其在糖尿病性视网膜病理进展中可能处于持续激活状态。既往研究也证实,房水 SDF-1 升高与增生型 DR 患者术后新生血管性青光眼发生密切相关,SDF-1 水平对增生型 DR 患者术后新生血管性青光眼具有较高的预测价值^[15]。房水 SDF-1 水平变化与糖尿病性白内障患者白内障分期有关,进行动态监测有利于判断糖尿病性白内障患者病情和预后^[16]。本研究在此基础上进一步拓展,发现术后视力残疾组 SDF-1 水平高于视力良好组,其高水平是 DR 患者术后视力残疾的危险因素,可能原因是:(1) SDF-1 促进病理性血管新生与纤维化,导致术后视网膜结构重塑异常、瘢痕组织增生,阻碍光感受器功能恢复;(2) SDF-1 具有促炎作用,可增强巨噬细胞

与组织巨噬细胞浸润,加重术后炎症反应;(3) SDF-1/CXCR4 轴参与胶质细胞活化,诱导 Müller 细胞反应性增生,从而影响视网膜内环境稳态。与既往研究多聚焦于术后并发症或疾病分期,而本研究首次将其与术后视力结局联系起来,丰富了 SDF-1 在 DR 术后风险评估中的作用场景。而 SDF-1 在缺血、新生血管及术后炎症反应中的持续激活,可能更直接影响术后视网膜结构重塑及视功能恢复。因此,术前房水 SDF-1 水平不仅是疾病活动状态的反映,也可能作为预测术后视力残疾风险的有价值指标。

ENA78 也称为 CXCL5,可通过促进炎症细胞聚集、释放氧化酶和蛋白酶,从而在多种慢性炎症性疾病中发挥重要作用^[17]。视网膜局部的慢性炎症反应是 DR 的重要发病机制之一,ENA78 在 DR 中可能通过促进局部中性粒细胞的聚集,诱导内皮细胞损伤和微血管通透性增加,进一步破坏血-视网膜屏障^[18]。研究发现,新生血管性青光眼患者房水中 ENA78 水平异常升高,检测 ENA78 水平有助于预测新生血管性青光眼患者抗血管内皮生长因子疗效,为临床医师判断疾病治疗效果提供参考^[19]。本研究在此基础上,进一步将 ENA78 的研究范围延伸至玻璃体切割术后视力预后领域,发现 DR 患者房水 ENA78 水平高于对照组,且在术后视力残疾组中进一步升高,提示其高表达与眼内炎症持续激活及术后视功能恢复不良密切相关。该结果与既往研究结果类似,进一步支持 ENA78 在 DR 眼内炎症反应中的核心作用。可能原因是:(1) 更高的炎症激活水平可能与玻璃体切割术后炎症反应持续存在有关,导致局部微环境修复延迟;(2) ENA78 诱导的血-视网膜屏障破坏可能延长术后水肿恢复时间,减少视网膜神经层完整性;(3) ENA78 与 VEGF 共同促进的微血管不稳定状态可能影响视网膜灌注质量及术后视功能重建。因此,术前房水 ENA78 水平的升高不仅反映眼内炎症状态,也可能预示术后视功能恢复的潜在难度,有望成为 DR 术前视力风险评估的有效辅助指标。

通过相对危险度分析发现,SDF-1、ENA78 高水平分别使术后发生视力残疾的风险增加至低水平组的 1.958 倍与 2.030 倍,表明 SDF-1、ENA78 的升高可作为疾病活动的生物学指标,提示其水平升高的患者术后发生视力残疾的风险也显著增加,通过进一步 ROC 分析发现,房水 SDF-1、ENA78 二者联合预测 DR 患者术后视力残疾的 AUC 为 0.936,显著高于单独预测,提示 SDF-1 与 ENA78 可能分别代表视网膜缺血-血管新生轴与局部炎症反应轴,二者在疾病机制中互为补充,共同参与 DR 病理过程,联合检测能够从多个维度综合反映眼内病理状态,因而提高了预测准确性。已有研究表明,多种外周血炎症因子(如 COX-2、RAGE 等)在 DR 的早期筛查及疾病分型中具有一定诊断价值^[20]。但这类研究多聚焦于未接受手术治疗的 DR 患者,主要通过血清水平反映全身炎症状态,缺乏对眼内局部微环境的直接评估。相比之下,本研究以接受玻璃体切割术的增殖型 DR 患者为研究对象,选取房水

作为分析样本,能够更准确反映眼内真实病理状态,且将SDF-1与ENA78与术后视力结局相联系,在研究视角上更贴近临床需求。且研究结果也提示其作为术前预后评估工具的临床应用潜力,进一步丰富了DR后期治疗效果预测的研究维度。

综上所述,房水SDF-1、ENA78水平升高是DR患者术后视力残疾的危险因素,SDF-1、ENA78二者联合检测在预测术后视功能结局方面表现出良好的准确性和临床应用前景,可为术前风险分层和个体化干预策略提供参考依据。然而,本研究仍存在一定不足:(1)房水样本采集依赖术前前房穿刺,虽然在规范操作下具备安全性和可行性,但其有创性限制了在常规临床中的推广,未来可探索泪液或影像学替代指标以实现无创预测;(2)本研究以术后1a为随访终点,尚不能反映更长期视功能变化,可能低估部分患者的持续改善或延迟性恶化,应在未来延长随访周期以动态评估视力转归;(3)本研究为单中心,样本量有限,存在一定的选择偏倚,未来需开展多中心、大样本研究以验证本研究结果的稳定性与广泛适用性,推动SDF-1和ENA78作为生物标志物在DR术前风险评估中的临床转化应用。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:徐曼论文选题与修改,初稿撰写,文献检索,数据分析;钟文金文献检索;郑嘉敏选题指导,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] Tan TE, Wong TY. Diabetic retinopathy: looking forward to 2030. *Front Endocrinol*, 2023,13:1077669.

[2] 魏远建,薛盛丁,朱光东,等. 2型糖尿病患者眼部参数对糖尿病视网膜病变发生的预测价值. *国际眼科杂志*, 2025,25(11):1876-1881.

[3] Chen SN, Chen SJ, Wu TT, et al. Refining vitrectomy for proliferative diabetic retinopathy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2023,261(12):3659-3670.

[4] Richard S, Kharouba R, Abu-Dbai J, et al. Screening Blood and Vitreous for Biomarkers Associated with Proliferative Diabetic Retinopathy. *Diagnostics (Basel)*, 2025,15(11):1344.

[5] Peng SY, Chuang CC, Hwang YS, et al. Association of SDF-1 and its receptor CXCR4 polymorphisms on the susceptibility of diabetic retinopathy in the Taiwanese population. *Front Genet*, 2023,14:1296773.

[6] Mason RH, Minaker SA, Lahaie Luna G, et al. Changes in aqueous and vitreous inflammatory cytokine levels in proliferative diabetic

retinopathy: a systematic review and meta-analysis. *Eye*, 2022;1-51.

[7] Gardella B, Dominoni M, Gritti A, et al. Endometriosis pain and epithelial neutrophil activating peptide - 78 levels. *Sci Rep*, 2022,12(1):3227.

[8] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南(2020年版). *中华糖尿病杂志*, 2021,13(4):315-409.

[9] 中华医学会糖尿病学分会视网膜病变学组. 糖尿病视网膜病变防治专家共识. *中华糖尿病杂志*, 2018,10(4):241-247.

[10] 延边.《残疾人残疾分类和分级国家标准实施手册》. *残疾人研究*, 2013,1:75.

[11] 王爽,李晓鹏. 房水中内皮素-1、超氧化物歧化酶与糖尿病视网膜病变患者术后视力残疾的关系. *眼科新进展*, 2023,43(3):203-207.

[12] 朱嘉丽,封月娟,刘钊. 血清Leptin、Apelin水平与增生型糖尿病性视网膜病变患者玻璃体切割术后视力残疾的关系. *山东医药*, 2024,64(31):10-14.

[13] Sadri F, Rezaei Z, Fereidouni M. The significance of the SDF-1/CXCR4 signaling pathway in the normal development. *Mol Biol Rep*, 2022,49(4):3307-3320.

[14] Monickaraj F, Oruganti SR, McGuire P, et al. A potential novel therapeutic target in diabetic retinopathy: a chemokine receptor (CCR2/CCR5) inhibitor reduces retinal vascular leakage in an animal model. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2021,259(1):93-100.

[15] 曾春梅,邓斌,白莹,等. 房水Sema3A、Klotho、SDF-1与增生型糖尿病视网膜病变患者术后新生血管性青光眼的关系研究. *现代生物医学进展*, 2024,24(12):2356-2360.

[16] 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.

[17] Osuka K, Watanabe Y, Suzuki C, et al. Sequential expression of neutrophil chemoattractants in cerebrospinal fluid after subarachnoid hemorrhage. *J Neuroimmunol*, 2021,357:577610.

[18] Chen C, Chang TT, Chen JW. Mechanistic role of CXCL5 in cardiovascular disease, diabetes mellitus, and kidney disease. *Life Sci*, 2023,330:122018.

[19] 吴祎林,李光辉,衡欣. 新生血管性青光眼患者房水HGF、ENA78及Sema3A的变化及临床意义. *海南医学*, 2024,35(3):385-389.

[20] 朱春明,鲍延丽. 血清COX-2和RAGE水平对糖尿病视网膜病变的诊断价值. *国际眼科杂志*, 2025,25(6):1009-1013.