

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

魏远建,薛盛丁,朱光东,谢汤寿

引用: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.

基金项目:福建省自然科学基金项目(No.2023J011867)
作者单位:(353000)中国福建省南平市第一医院眼科
作者简介:魏远建,男,硕士,副主任医师,研究方向:玻璃体视网膜疾病基础与临床。
通讯作者:魏远建. yuan334700@163.com
收稿日期:2025-05-23 修回日期:2025-09-25

摘要
目的:探讨无视网膜病变 2 型糖尿病 (T2DM) 患者基线时期眼部参数与随访期间发生视网膜病变的相关性与诊断性能。
方法:2020 年 5 月至 2021 年 5 月我院收治基线时期无视网膜病变 T2DM 患者共 123 例,前瞻性收录患者基线时期临床资料信息及眼部参数指标,进行至少为期 3 a 随访,统计随访期间发生糖尿病视网膜病变的例数,多因素逻辑回归分析糖尿病视网膜病变发生的相关因素,对多因素逻辑回归分析的相关因素进行 ROC 曲线分析。
结果:随访期间共 49 例 (39.8%) 患者发生糖尿病视网膜病变 (病变组),其他未发生病变的患者纳入非病变组 (74 例)。病变组的空腹血糖、糖化血红蛋白 (HbA1c)、前房深度、中央角膜厚度高于非病变组 (均 $P<0.01$),眼轴长度、瞳孔直径低于非病变组 (均 $P<0.01$)。低空腹血糖、HbA1c、中央角膜厚度是 T2DM 患者发生糖尿病视网膜病变的保护因素 [OR (95% CI): 0.356 (0.130-0.978)、0.213 (0.057-0.797)、0.971 (0.950-0.992), 均 $P<0.05$],低瞳孔直径是 T2DM 患者发生糖尿病视网膜病变的危险因素 [OR (95% CI): 389.483 (20.298-7473.596), $P<0.05$]。ROC 分析曲线显示,空腹血糖、HbA1c、中央角膜厚度、瞳孔直径联合的 AUC 最高,为 0.962 (95% CI: 0.934-0.991),眼部参数中央角膜厚度、瞳孔直径 AUC 值 0.725 (95% CI: 0.596-0.814)、0.711 (95% CI: 0.602-0.814) 与空腹血糖的 0.709 (95% CI: 0.615-0.803) 和 HbA1c 的 0.708 (95% CI: 0.613-0.804) 差异不大,而中央角膜厚度与瞳孔直径联合可将 AUC 提升至 0.896 (95% CI: 0.835-0.976)。
结论:T2DM 患者基线时期眼部参数中央角膜厚度与瞳孔直径可用于预测糖尿病视网膜病变的发生风险。
关键词:2 型糖尿病;瞳孔直径;中央角膜厚度;视网膜病变
DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.11.26

Value of ocular parameters in patients with type 2 diabetes for predicting diabetic retinopathy

Wei Yuanjian, Xue Shengding, Zhu Guangdong, Xie Tangshou

Foundation item: Natural Science Foundation of Fujian Province (No.2023J011867)
Department of Ophthalmology, the First Hospital of Nanping City, Nanping 353000, Fujian Province, China
Correspondence to: Wei Yuanjian. Department of Ophthalmology, the First Hospital of Nanping City, Nanping 353000, Fujian Province, China. yuan334700@163.com
Received: 2025-05-23 Accepted: 2025-09-25

Abstract

• **AIM:** To investigate the correlation and diagnostic performance between baseline ocular parameters and the occurrence of retinopathy in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) without retinopathy.
• **METHODS:** From May 2020 to May 2021, our hospital admitted a total of 123 patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) who had no retinopathy at baseline. Clinical data and ocular parameters at baseline were prospectively collected, followed by at least a 3-year follow-up period. The number of cases of diabetic retinopathy occurred during the follow-up period was statistically analyzed, and a multivariable Logistic regression analysis was conducted to identify factors associated with the development of diabetic retinopathy. ROC curve analysis was performed on the factors identified in the multivariable Logistic regression analysis.
• **RESULTS:** During the follow-up period, 49 patients (39.8%) developed diabetic retinopathy. Patients who developed retinopathy were included in the retinopathy group, while the remaining patients were included in the non-retinopathy group ($n = 74$). The fasting blood glucose, glycated hemoglobin (HbA1c), anterior chamber depth, and central corneal thickness were higher in the retinopathy group than in the non-retinopathy group (all $P<0.01$), while the axial length and pupil diameter were lower in the retinopathy group than in the non-retinopathy group (all $P<0.01$). Low fasting blood glucose, HbA1c, and central corneal thickness are protective factors against diabetic retinopathy in T2DM patients [OR (95% CI): 0.356 (0.130-0.978), 0.213 (0.057-

0.797), 0.971 (0.950–0.992), all $P<0.05$], while low pupil diameter is a risk factor for diabetic retinopathy in T2DM patients [OR (95% CI): 389.483 (20.298–7473.596), $P<0.05$]. ROC curve analysis showed that the AUC was highest when combining fasting blood glucose, HbA1c, central corneal thickness, and pupil diameter, at 0.962 (95% CI: 0.934–0.991). The AUC values for the central corneal thickness and pupil diameter were 0.725 (95% CI: 0.596–0.814) and 0.711 (95% CI: 0.602–0.814), respectively, which were not significantly different from the AUC values of fasting blood glucose 0.709 (95% CI: 0.615–0.803) and HbA1c 0.708 (95% CI: 0.613–0.804), while the combined diagnosis of central corneal thickness and pupil diameter can increase the AUC to 0.896 (95% CI: 0.835–0.976).

• **CONCLUSION:** Baseline ocular parameters, including central corneal thickness and pupil diameter, in patients with T2DM can be used to predict the risk of developing diabetic retinopathy.

• **KEYWORDS:** type 2 diabetes mellitus; pupil diameter; central corneal thickness; retinopathy

Citation: Wei YJ, Xue SD, Zhu GD, et al. Value of ocular parameters in patients with type 2 diabetes for predicting diabetic retinopathy. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2025, 25 (11): 1876–1881.

0 引言

近年来,生活方式的转变以及老龄化趋势的加剧等因素导致 2 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)在全球范围内患病率攀升,成为危害人类健康重大公共卫生挑战^[1-2]。T2DM 扰乱患者机体代谢平衡,病变长期存在诱发一系列微血管与大血管并发症,糖尿病视网膜病变是其中最为普遍的微血管并发症之一^[3-4]。糖尿病视网膜病变发病机制复杂,与血糖水平、炎症因素、糖尿病病程、遗传因素及眼部解剖结构等多方因素有关^[5]。近年来,人们开始关注瞳孔直径(pupillary diameter, PD)、中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)对眼部视力调控的影响^[6]。T2DM 患者中这些眼部参数与糖尿病视网膜病变发生发展之间的关系尚需探讨。瞳孔直径随年龄、人种、屈光状态不同,调节进入眼睛的光线,影响眼球光学系统的焦深和球差,糖尿病自主神经病变患者常见瞳孔缩小,瞳孔直径可用于糖尿病自主神经病变早期预测^[7]。中央角膜厚度是眼部生物力学的重要参数,其变化可能与眼部疾病的发生和发展密切相关^[8]。糖尿病引起的角膜内病变表现出中央角膜厚度增加^[9]。因此推测瞳孔直径与中央角膜厚度可能与糖尿病视网膜病变具有相关性,目前关于 T2DM 患者眼部参数与发生视网膜病变间关系尚不明确,本研究初步探讨瞳孔直径、中央角膜厚度等眼部参数与糖尿病视网膜病变的相关性,结果如下。

1 对象和方法

1.1 对象 2020 年 5 月至 2021 年 5 月我院收治符合纳入和排除标准、基线时期无视网膜病变 T2DM 患者共 123 例。纳入标准:(1)确诊符合所定义的 T2DM 标准^[10];(2)患者与医疗人员间沟通顺畅无阻;(3)年龄超过 18 岁;(4)持有完整且详尽的临床诊疗记录。排除标准:(1)罹

患 1 型糖尿病或任何其他特殊类别的糖尿病;(2)存在关键器官功能损害;(3)伴随有免疫系统疾病、传染性疾病、血液疾病或恶性肿瘤病史;(4)伴青光眼、眼外伤、高血压视网膜病变等其他眼部疾病者;(5)伴眼底检查禁忌证者、屈光介质混浊影响眼底探查者;(6)妊娠、哺乳者;(7)无法配合相关检查者;(8)临床资料不全者或失访者。本研究取得医学伦理委员会审查批准(批准号: NPSY202412018),所有参与者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 分组 前瞻性收录患者基线时期临床资料信息及眼部参数指标,进行至少为期 3 a 随访,统计随访期间无视网膜病变发生人数。参照《我国糖尿病视网膜病变临床诊疗指南(2022 年)》^[11],将 T2DM 患者(可疑单眼病变者)视物不清,散瞳后荧光素眼底血管造影、眼底镜检查、裂隙灯检查结果结合,对于观察到视网膜微血管受损、出血、渗出物存在、黄斑水肿或血管新生等症状的患者,将其归类为病变组;而其余未展现出这些视网膜病变特征的患者,则归入非病变组。

1.2.2 研究指标测量 (1)基本信息:收集患者的基本信息,涵盖性别、年龄、身体质量指数(body mass index, BMI)、腰围尺寸、吸烟习惯、饮酒历史、既往基础疾病情况、T2DM 的病程时长、空腹血糖水平、糖化血红蛋白(glycosylated hemoglobin type A1C, HbA1c)值、甘油三酯(triglyceride, TG)浓度、总胆固醇(total cholesterol, TC)水平以及高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)含量、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、糖尿病周围神经病变、糖尿病肾病。(2)眼部参数:所有受检者均在同一照明条件下,由同一位临床经验丰富的眼科医生按照相同步骤采用光学生物测量仪(LS-900 型,分辨率 0.01 mm/1 μm)测定中央角膜厚度、球镜屈光度、柱镜屈光度、眼轴长度、前房深度、前房面积、眼压、角膜水平曲率、角膜垂直曲率,采用角膜地形图测定仪(TMS-4N 型,检测范围 33.75–61.36 D)测定两组瞳孔直径。光学生物测量仪每个测量过程前均请患者眨眼,适当调节测量仪位置,以保证患者处于较为舒适状态测定,避免紧张造成不必要的眼球运动,指导患者注视特定的目标,以确保眼睛处于正确的测量位置,设备自动获取所需的眼部生物测量数据,系统显示各项测量结果。

角膜地形图测定仪在摄影时嘱咐患者睁大眼睛,可在一次测量过程中多次测量获取最佳影像。以上眼部参数数据均都在非连续日不同时间段重复 3 次测定,取平均值。患者通过配戴角膜塑形镜测定离焦环大小,离焦环大小与瞳孔直径^[12]是影响近视患者配戴角膜塑形镜后眼轴长度,离焦环>瞳孔直径者近视控制程度较差,统计离焦环>瞳孔直径例数。其中前房面积=前房容积/前房深度,为排除前房深度后对前房特征测定的指标。

统计学分析:采用统计学软件 SPSS18.0 进行数据分析,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料以率(%)表示,比较采用 χ^2 检验。影响因素分析采用逻辑回归模型。采用 ROC 曲线评估效能。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料 随访期间共 49 例(39.8%)患者发生糖尿

病视网膜病变,将发生病变患者纳入病变组(49 例),其他患者纳入非病变组(74 例)。病变组、非病变组的性别、年龄、体质量指数、腰围、吸烟史、饮酒史、随访时间、基础疾病、冠心病、T2DM 病程、TG、TC、HDL-C、LDL-C、糖尿病周围神经病变、糖尿病肾病、球镜屈光度、柱镜屈光度、前房面积、眼压、角膜水平曲率、角膜垂直曲率、离焦环>瞳孔(是/否)对比,差异无统计学意义(均 $P>0.05$);病变组的空腹血糖、HbA1C、前房深度、中央角膜厚度高于非病变组(均 $P<0.01$),眼轴长度、瞳孔直径低于非病变组(均 $P<0.01$),见表 1。

2.2 T2DM 患者发生糖尿病视网膜病变的影响因素分析

以是否发生糖尿病视网膜病变为因变量,自变量为基本资料中因素,赋值:女性为 0,男性为 1;合并疾病赋值高血压、高脂血症、冠心病、糖尿病周围神经病变、糖尿病肾病为 1,无合并为 0;离焦环>瞳孔为 1,离焦环≤瞳孔为 0;具有吸烟史、饮酒史赋值为 1,无为 0。将逻辑回归单因素分析具有显著性差异结果($P<0.05$)纳入多因素逻辑回归分析,由于年龄、高血压、高脂血症、T2DM 病程与糖尿病视

网膜病变发生密切相关,同时纳入多因素逻辑回归分析,结果表明,低空腹血糖、HbA1C、中央角膜厚度是 T2DM 患者发生糖尿病视网膜病变的保护因素[$OR(95\%CI):0.356(0.130-0.978)$ 、 $0.213(0.057-0.797)$ 、 $0.971(0.950-0.992)$],均 $P<0.05$],低瞳孔直径是 T2DM 患者发生糖尿病视网膜病变的危险因素[$OR(95\%CI):389.483(20.298-7473.596)$],合并高脂血症统计学结果接近 0.05,但差异无统计意义($P>0.05$),见表 2、3。

2.3 影响 T2DM 患者发生糖尿病视网膜病变的 ROC 分析

将多因素分析的风险因素空腹血糖、HbA1C、中央角膜厚度、瞳孔直径及其联合预测进行 ROC 分析曲线显示,空腹血糖、HbA1C、中央角膜厚度、瞳孔直径联合的 AUC 最高,为 0.962($95\%CI:0.934-0.991$),眼部参数中央角膜厚度、瞳孔直径 AUC 值 0.725($95\%CI:0.596-0.814$)、0.711($95\%CI:0.602-0.814$)与空腹血糖的 0.709($95\%CI:0.615-0.803$)和 HbA1C 的 0.708($95\%CI:0.613-0.804$)差异不大,而中央角膜厚度与瞳孔直径联合可将 AUC 提升至 0.896($95\%CI:0.835-0.976$),见表 4、图 1。

表 1 病变组和非病变组基本资料比较

指标	病变组(49 例)	非病变组(74 例)	t/χ^2	P
性别(例,%)			0.717	0.397
男	24(49.0)	42(56.8)		
女	25(51.0)	32(43.2)		
年龄($\bar{x}\pm s$,岁)	62.41±5.97	60.73±5.48	1.606	0.111
腰围($\bar{x}\pm s$,cm)	90.29±2.61	89.57±2.43	1.562	0.121
体质量指数($\bar{x}\pm s$,kg/m ²)	24.01±1.23	23.89±1.17	0.546	0.586
吸烟史(例,%)	18(36.7)	33(44.6)	0.750	0.386
饮酒史(例,%)	10(20.4)	21(28.4)	0.993	0.319
随访时间($\bar{x}\pm s$,mo)	41.25±3.24	40.87±3.33	0.626	0.532
基础疾病(例,%)				
高血压	24(49.0)	32(43.2)	0.391	0.532
高脂血症	27(55.1)	35(47.3)	0.718	0.397
冠心病(例,%)	9(18.4)	10(13.5)	0.532	0.466
T2DM 病程($\bar{x}\pm s$,a)	3.97±1.16	3.61±1.09	1.726	0.087
空腹血糖($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	6.83±0.89	6.28±0.81	3.544	0.001
HbA1C($\bar{x}\pm s$,%)	7.92±0.75	7.34±0.72	4.302	<0.01
TG($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	2.12±0.38	2.09±0.35	0.450	0.654
TC($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	4.93±0.62	4.76±0.56	1.579	0.117
HDL-C($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	1.36±0.23	1.41±0.25	1.121	0.265
LDL-C($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	3.13±0.51	3.02±0.46	1.243	0.216
糖尿病周围神经病变(例,%)	11(22.4)	10(13.5)	1.662	0.197
糖尿病肾病(例,%)	14(28.6)	13(17.6)	2.083	0.149
球镜屈光度($\bar{x}\pm s$,D)	0.39±0.06	0.41±0.07	1.640	0.104
柱镜屈光度($\bar{x}\pm s$,D)	-0.18±0.11	-0.21±0.11	1.493	0.138
眼轴长度($\bar{x}\pm s$,mm)	22.31±0.75	23.25±0.78	6.643	<0.01
前房深度($\bar{x}\pm s$,mm)	2.78±0.41	2.51±0.39	3.683	<0.01
前房面积($\bar{x}\pm s$,mm ²)	22.96±3.01	23.47±3.18	0.889	0.376
眼压($\bar{x}\pm s$,mmHg)	16.51±2.05	16.78±1.92	0.743	0.459
角膜水平曲率($\bar{x}\pm s$,D)	41.92±4.21	42.73±3.89	1.094	0.186
角膜垂直曲率($\bar{x}\pm s$,D)	44.42±4.03	45.39±4.18	1.278	0.204
中央角膜厚度($\bar{x}\pm s$,μm)	592.79±52.14	521.28±47.91	7.823	<0.01
瞳孔直径($\bar{x}\pm s$,mm)	3.72±0.36	4.41±0.42	9.430	<0.01
离焦环>瞳孔(是/否,例)	29/20	32/42	2.534	0.111

表 2 糖尿病视网膜病变发生的单因素逻辑回归分析

因素	<i>B</i>	<i>Wald</i> χ^2	<i>P</i>	<i>OR</i>	95% <i>CI</i> 下限	95% <i>CI</i> 上限
性别	-0.313	0.715	0.398	0.731	0.354	1.510
年龄	-0.052	2.484	0.115	0.949	0.890	1.013
腰围	-0.115	2.343	0.126	0.891	0.769	1.033
体质量指数	-0.084	0.296	0.586	0.919	0.678	1.245
吸烟史	-0.327	0.748	0.387	0.721	0.344	1.512
饮酒史	-0.435	0.986	0.321	0.647	0.274	1.528
随访时间	-0.035	0.390	0.533	0.966	0.866	1.077
高血压	0.231	0.391	0.532	1.260	0.610	2.601
高脂血症	0.313	0.717	0.397	1.368	0.663	2.823
冠心病	0.365	0.528	0.467	1.440	0.539	3.850
T2DM 病程	-0.406	2.804	0.094	0.667	0.415	1.072
空腹血糖	-0.910	13.211	<0.01	0.402	0.246	0.657
HbA1C	-1.050	14.414	<0.01	0.350	0.204	0.602
TG	-0.229	0.202	0.653	0.795	0.292	2.163
TC	-0.494	2.398	0.122	0.610	0.327	1.140
HDL-C	0.852	1.232	0.267	2.345	0.521	10.569
LDL-C	-0.474	1.504	0.220	0.623	0.292	1.328
糖尿病周围神经病变	0.617	1.633	0.201	1.853	0.720	4.770
糖尿病肾病	0.630	2.051	0.152	1.877	0.793	4.443
球镜屈光度	4.592	2.574	0.109	1.583	0.903	2.773
柱镜屈光度	-2.513	2.154	0.142	0.081	0.003	2.323
眼轴长度	0.671	7.861	0.005	1.956	1.224	3.125
前房深度	-1.691	11.125	<0.01	0.184	0.068	0.498
前房面积	0.052	0.781	0.377	1.054	0.938	1.184
眼压	0.069	0.547	0.459	1.072	0.892	1.287
角膜水平曲率	0.050	1.175	0.278	1.052	0.960	1.152
角膜垂直曲率	0.057	1.594	0.207	1.058	0.969	1.156
中央角膜厚度	-0.030	27.149	<0.01	0.971	0.960	0.982
瞳孔直径	4.542	29.952	<0.01	1.578	1.338	1.853
离焦环>瞳孔	0.643	2.967	0.085	1.903	0.915	3.958

表 3 糖尿病视网膜病变发生的多因素逻辑回归分析

变量	<i>B</i>	<i>Wald</i> χ^2	<i>P</i>	<i>OR</i>	95% <i>CI</i> 下限	95% <i>CI</i> 上限
年龄	-0.096	1.693	0.193	0.909	0.786	1.050
高血压	1.537	2.507	0.113	4.649	0.694	31.151
高脂血症	1.778	3.688	0.055	5.920	0.964	36.350
T2DM 病程	-0.416	0.433	0.511	0.659	0.191	2.281
空腹血糖	-1.033	4.013	0.045	0.356	0.130	0.978
HbA1C	-1.545	5.279	0.022	0.213	0.057	0.797
眼轴长度	0.745	1.939	0.164	2.106	0.738	6.009
前房深度	-0.930	0.622	0.430	0.394	0.039	3.984
中央角膜厚度	-0.030	6.989	0.008	0.971	0.950	0.992
瞳孔直径	5.965	15.660	<0.01	1.815	1.351	2.439
常量	2.105	0.019	0.890	8.209		

表 4 不同指标与糖尿病视网膜病变发生的 ROC 分析

指标	最佳截断点	灵敏度(%)	特异度(%)	AUC	95% <i>CI</i>
空腹血糖	6.48 mmol/L	73.50	62.20	0.709	0.615-0.803
HbA1C	7.48%	77.60	58.10	0.708	0.613-0.804
中央角膜厚度	556.87 μ m	87.70	71.60	0.849	0.781-0.917
瞳孔直径	4.09 mm	89.90	74.30	0.889	0.834-0.944
中央角膜厚度与瞳孔直径联合		81.59	89.22	0.896	0.835-0.976
所有指标联合		85.70	93.20	0.962	0.934-0.991

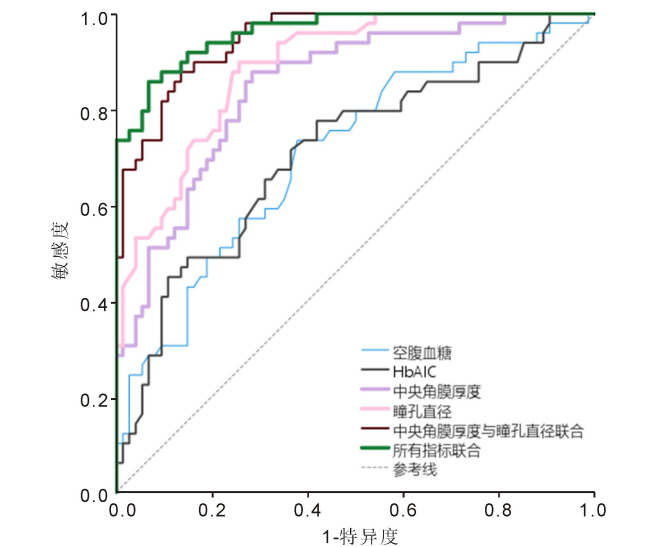


图 1 不同指标及联合与糖尿病视网膜病变发生的 ROC 分析。

3 讨论

糖尿病视网膜病变是一种由糖尿病引起的视网膜血管微循环障碍性疾病,属于糖尿病的慢性并发症范畴,其典型症状包括视力下降和闪光感等^[13]。其机制在于糖尿病患者视网膜静脉通道易于发生阻塞或狭窄,限制血液回流,进而引发视网膜缺血、水肿以及血管渗漏和损伤^[14]。随着病程的演进,患者可能遭遇飞蚊症、视野缺损等问题,异常新生血管的过度增生可能形成纤维增殖膜并牵拉视网膜,导致视网膜及玻璃体出血,进而可能诱发孔源性视网膜脱离,严重损害患者的视力,甚至导致完全失明,对患者的眼部健康构成重大威胁^[15-16]。疾病根据发展严重程度分为非增殖性和增殖性两个阶段,早期干预治疗对于控制病情至关重要,因此糖尿病患者群体需要定期进行眼科检查,以便及时发现并处理视网膜病变^[17]。

眼部参数是用于区分 T2DM 患者是否发生视网膜病变的重要指标。奚婷等^[18]通过光学相干断层扫描检测 T2DM 患者黄斑区各层厚度,发现神经纤维层、神经节细胞层等分区和总视网膜厚度能够预测糖尿病视网膜病变病情进展。本研究所选取的眼部参数为光学生物测量仪检测的眼部参数,结合基线时期临床基础资料,对是否发生糖尿病视网膜病变进行二分类分析。相较于光学相干断层扫描,光学生物测量仪检测更为普遍、廉价,是眼科医院和视光中心的必备仪器,能简单、快捷、廉价地获取准确而有效测量指标。本研究二元多因素逻辑回归分析结果显示,眼部参数中央角膜厚度、瞳孔直径是影响 T2DM 患者发生糖尿病视网膜病变的风险因素。患者通过光学生物测量仪获取到的眼部参数指标具有有效预测效能,廉价的检测方法能够降低患者医疗负担。

一项综述表明,糖尿病视网膜病变患者的中央角膜厚度明显高于无糖尿病视网膜病变的糖尿病患者^[19]。中央角膜厚度是评估眼部健康的重要指标,其变化可能影响角膜的透明度和折射率,从而影响视觉质量^[20]。角膜内皮细胞对于保持角膜透明度至关重要,既往研究表明,其功能受损可能导致角膜水肿,从而使中央角膜厚度增加^[21]。T2DM 患者常伴有全身微血管病变,导致眼部微血管受损,进而影响角膜内皮细胞的功能。糖尿病患者内环境中存在的炎症反应和氧化应激也会损害角膜的结构和功能,

导致角膜细胞损伤和水肿,进一步增加中央角膜厚度^[22]。T2DM 还会引起神经系统损伤,包括眼部神经系统及角膜血管等眼部血管的变化,可能影响角膜的血液供应和代谢,导致中央角膜厚度增加,进而影响角膜的神经供应和调节功能,破坏角膜的代谢和水分平衡。与本研究结果类似,这可能与糖尿病患者中央角膜厚度增加与视网膜病变发生机制相关。

瞳孔直径的大小决定光线进入眼内的范围和角度,影响视网膜上的成像质量^[23]。研究显示^[24],T2DM 增殖性糖尿病视网膜病变患者的自动瞳孔测量值有明显变化,且 T2DM 患者的瞳孔直径低于健康人群,随着糖尿病视网膜病变严重程度增加而下降,本研究结果与之相似。可能原因在于 T2DM 引起的自主神经系统损伤影响瞳孔周围血管等眼部血管的功能和结构,降低视神经传导速度和诱发神经元损伤,导致瞳孔对光线的调节功能失调,瞳孔无法有效作出适当反应,进而影响瞳孔直径,长期导致瞳孔大小异常变化^[25]。

除以上眼部参数外,本研究还发现基线时期病变组和非病变组患者前房深度、眼轴长度存在差异(均 $P<0.05$)。现有研究大多表明,眼轴长度较长的近视患者患糖尿病视网膜病变风险更低,较高水平的前房深度和眼轴长度是糖尿病视网膜病变患者患黄斑水肿的保护因素,但可能受到研究样本量、区域、种族的影响,部分研究得出相反结果^[13]。本研究结果与多数研究相似,同样发现非病变组患者眼轴长度高于病变组,而前房深度结果相反,但多因素逻辑回归分析排除了这两个参数,可能与本研究样本量较小有关。对于前房深度、眼轴长度在糖尿病视网膜病变中的作用还需要进一步分析。

刘昕舒等^[26]研究发现 T2DM 病程、高血压病史、空腹血糖、血尿素氮、眼部指标脉络膜血管指数是糖尿病视网膜病变风险因素。鉴于 T2DM 病程、高血压、高脂血症与糖尿病视网膜病变风险重要的临床意义,本研究同样将这些指标纳入多因素回归分析以排除干扰,结果表明空腹血糖、HbA1C 水平与 T2DM 严重程度相关,结果相似。高血糖与糖尿病严重程度相关,血糖升高与炎症相关,高血糖患者机体高血糖状态促进眼部微血管病变。

ROC 曲线分析显示,空腹血糖、HbA1C、中央角膜厚度、瞳孔直径的联合检测 AUC 可达 0.962(95%CI:0.934-0.991),诊断性能优秀。在各项指标单独预测上诊断性能相似,中央角膜厚度与瞳孔直径联合诊断可将 AUC 提升至 0.896(95%CI:0.835-0.976),诊断性能较为优秀。

本研究通过对糖尿病患者视网膜病变前临床基础资料进行统计分析,创新性地利用血常规结合基础眼部参数进行联合诊断,相较于其他研究,本研究所需要的筛查指标廉价、易获取,诊断性能优秀,能够减轻患者筛查医疗负担,从而提高患者主动筛查依从性,可作为一种辅助筛查工具以区分 T2DM 患者糖尿病视网膜病变风险。但本研究所选用的基础眼部参数同样存在不足,中央角膜厚度容易受年龄、近视程度影响,瞳孔直径与应用药物、个体差异、光线影响相关,未来研究可通过分析基线时期与随访时期眼部参数变化率以排除干扰,提高诊断特异性。

本研究的局限性:(1)单中心研究,统计的病例可能缺乏代表性,结果可能受到特定地点因素的干扰,影响结论的普遍性。(2)研究样本量有限,可能会造成结果偏倚,影响将结果扩展的能力,根据 ROC 分析虽得出截断

值,但小样本量、单中心研究的限制无法将其作为临床标准应用,后期仍需加强关于模型建立与验证工作,并进一步开展多中心、大样本量的临床研究以验证本研究结果,获取有充足推广性的截断值,以实现 T2DM 患者基础眼部参数用于糖尿病视网膜病变发生的精准预测,为早期识别预防糖尿病视网膜病变提供依据。(3)未对 T2DM 患者治疗方案及用药依从性等因素进行追踪,可能对结果造成影响,未来前瞻性研究还需要更充分考虑相关影响因素,以排除干扰。(4)因病变组增殖期患者例数较少(仅 3 例),所以未对病变组进行二次分组分析,还需要纳入更大样本量的广泛研究以比较非增殖期和增殖期糖尿病视网膜病变患者中央角膜厚度、瞳孔直径之间关系,细化眼部参数与糖尿病视网膜病变发展之间的关系。

综上所述,T2DM 患者眼部参数中央角膜厚度、瞳孔直径与糖尿病视网膜病变发生相关,空腹血糖、HbA1C、中央角膜厚度、瞳孔直径的联合检测具有预测糖尿病视网膜病变发生的优秀诊断性能。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:魏远建论文选题与修改,初稿撰写,论文修改及审阅;朱光东、薛盛丁、谢汤寿文献检索,数据分析。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

[1] 张玮琼, 王建伟, 王晶莹, 等. T2DM 患者血清 miR-199a-3p 水平与 DR 的相关性研究. 中国中医眼科杂志, 2024,34(8):723-729.

[2] 徐荣锦, 刘洪涛, 李明波. 糖尿病视网膜病变的发病机制及炎症因素的研究现状. 中国临床药理学杂志, 2025, 41(12):1789-1794.

[3] 张艳玲, 张敬进, 王世龙, 等. T2DM 患者血清 25(OH)D3、IGF-1 水平与糖脂代谢的相关性及其对视网膜病变的预测价值. 中华内分泌外科杂志, 2024,18(3):346-351.

[4] 黄永洪, 谢晋烨, 韩登科, 等. 2 型糖尿病视网膜病患者血清中胎球蛋白 B 水平的变化. 中国老年学杂志, 2024, 44(17):4151-4154.

[5] 赵文菲, 陈爱荣, 任慧敏, 等. 维生素 D 与早发 2 型糖尿病合并微血管病变相关性的研究进展. 中国糖尿病杂志, 2025, 33(5):388-391.

[6] Sah RP, Meyer D, Jaskulski M, et al. Impact of zone geometry on the introduction of myopic defocus in young adult eyes wearing multi-zone lenses. Ophthalmic Physiologic Optic, 2023,43(5):1110-1124.

[7] 孙长策, 张晓俊. 瞳孔直径在糖尿病病程评估中的作用. 国际眼科纵览, 2021,45(6):495-498.

[8] Pauné J, Fonts S, Rodríguez L, et al. The role of back optic zone diameter in myopia control with orthokeratology lenses. J Clin Med, 2021,10(2):336.

[9] 赵红冉, 窦圣乾, 谢立信. 糖尿病角膜内皮病变的研究进展. 中华眼科杂志, 2025,61(2):149-155.

[10] Harreiter J, Roden M. Diabetes mellitus - Definition, Klassifikation, Diagnose, Screening und Prävention (Update 2019).

Wien klinWochenschr, 2019,131(S1):6-15.

[11] 中华医学会眼科学分会眼底病学组, 中国医师协会眼科医师分会眼底病学组. 我国糖尿病视网膜病变临床诊疗指南(2022 年). 中华眼底病杂志, 2023,39(2):99-124.

[12] 于嘉, 张晶, 周跃华, 等. 离焦环大小及其与瞳孔直径的关系对近视患者配戴角膜塑形镜后眼轴增长的影响. 中华实验眼科杂志, 2023,41(8):776-781.

[13] Kataria P, Sethi NK, Brar GK, et al. A study of association of ocular biometric parameters with various grades of diabetic macular edema and severity of diabetic retinopathy. J Fam Med Prim Care, 2025, 14(5):1980-1984.

[14] Duan MM, Tu X. Deep learning-based classification of multiple fundus diseases using ultra-widefield images. Front Cell Dev Biol, 2025, 13:1630667.

[15] Markan A, Agarwal A, Katoch D, et al. Assessing the Role of Statins as an Adjunctive Anti-VEGF Therapy for Clinically Significant Macular Edema (CSME) in Type 2 Diabetes Mellitus. Rom J Ophthalmol, 2025,69(2):219-227.

[16] Abu El-Asrar AM, Nawaz MI, Ahmad A, et al. A key role of the PGC-1 α /ERR- α pathway in regulation of angiogenic factors in proliferative diabetic retinopathy. Front Endocrinol, 2025,16:1615103.

[17] Haresabadi M, Esfahani EN, Ali Mansournia M, et al. Model-based estimation of the generalized impact fraction (GIF) and population attributable fraction (PAF) for interventions targeting risk factors affecting the five-year risk of diabetic retinopathy. BMC Public Health, 2025,25(1):2667.

[18] 奚婷, 顾喆瑶, 刘振兴, 等. OCT 检测 2 型糖尿病患者黄斑区各层厚度预测视网膜病变进展. 国际眼科杂志, 2025, 25(8):1240-1246.

[19] Sharifi A, Moeini AM, Nabi-Afjadi M. Specular microscopy findings in diabetic patients: a systematic review and meta-analysis. Clin Diabetes Endocrinol, 2024,10(1):44.

[20] 李跃祖, 李俊, 张洁莹, 等. 正常角膜生物力学参数与角膜直径的相关性分析. 眼科新进展, 2022,42(7):534-537.

[21] 杜若田, 李冬妍, 谢懿, 等. 渗透压对角膜内皮细胞形态及增殖、迁移功能的影响. 医用生物力学, 2024,39(S1):435.

[22] Yousuf S, Dash S, Sahu P, et al. Correlation of Central Corneal Thickness and Keratometry Findings With the Severity of Diabetic Retinopathy and Glycosylated Hemoglobin (HbA1c) Levels in Type II Diabetes Mellitus Patients. Cureus, 2024,16(11):e74116.

[23] 宋婕, 王保君, 李彦, 等. 超声睫状体成形术对青光眼患者眼前节结构的影响及眼前节各参数变化与眼压的关系. 眼科新进展, 2023,43(10):809-813.

[24] 王雪. 糖尿病性视网膜病变分期与瞳孔对光反射参数的定量研究及机制初探. 苏州大学, 2021.

[25] Machalińska A, Kuligowska A, Ziótkowska-Wrzątek A, et al. The severity of diabetic retinopathy corresponds with corneal nerve alterations and ocular discomfort of the patient. Int J Mol Sci, 2024, 25(11):6072.

[26] 刘昕舒, 史灿灿, 于晴, 等. 基于 UWF-SS-OCTA 构建糖尿病视网膜病变的临床预测模型. 国际眼科杂志, 2025, 25(6):999-1004.