

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

奚婷, 顾喆瑶, 刘振兴, 孙瑞竹, 雒向颖

引用: 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.

作者单位: (215000) 中国江苏省苏州市立医院 南京医科大学附属苏州医院

作者简介: 奚婷, 硕士, 副主任医师, 眼科副主任, 研究方向: 白内障、青光眼、眼底病。

通讯作者: 雒向颖, 本科, 副主任医师, 研究方向: 眼科临床. bqkly@126.com

收稿日期: 2025-01-19 修回日期: 2025-06-16

摘要

目的:通过光学相干断层扫描(OCT)检测2型糖尿病患者黄斑区各层厚度预测糖尿病视网膜病变(DR)进展。

方法:回顾性研究。收集2023年1月至2024年9月我院收治的2型糖尿病患者100例200眼临床资料,并根据国际临床DR分级分为无糖尿病视网膜病变(NDR)组32例64眼、非增殖性糖尿病视网膜病变(NPDR)组38例76眼和增殖性糖尿病视网膜病变(PDR)组30例60眼。收集同期与糖尿病患者年龄与性别分布相匹配的体检健康者49例98眼作为正常组。所有参与者均行OCT检查,比较各组参与者黄斑各分区神经纤维层(RNFL)、神经节细胞层(GCL)、内丛状层(IPL)、外核层(ONL)、光感受器细胞层和总视网膜厚度(RT)变化, Eta系数分析其与DR严重程度的相关性。

结果:PDR组患者黄斑区各分区及平均RNFL、GCL、IPL、ONL和光感受器细胞层厚度明显低于NDR组和正常组,而黄斑区平均RT厚度明显高于NPDR组、NDR组和正常组(均 $P<0.05$);PDR组患者黄斑区RNFL(中央区、上方内外环和下方内外环以及平均)、GCL(上方内外环和下方内外环以及平均)、IPL(上方内环)、ONL(中央、上方内环和下方内环)和光感受器细胞层(上方内外环和下方内外环以及平均)厚度明显高于NPDR组(均 $P<0.05$)。NPDR组患者黄斑区各分区及平均RNFL、GCL、IPL、ONL和光感受器细胞层明显低于NDR组和正常组,而黄斑区平均RT厚度明显高于NDR组和正常组(均 $P<0.05$);NDR组以上指标与正常组比较差异无统计学意义(均 $P>0.05$)。DR严重程度与黄斑区平均RNFL、GCL、IPL、ONL、光感受器细胞层和RT厚度有一定的相关性(均 $P<0.001$)。

结论:OCT检测2型糖尿病患者黄斑区RNFL、GCL、IPL、ONL、光感受器细胞层和RT厚度能评估DR病情进展。

关键词:光学相干断层扫描(OCT);糖尿病视网膜病变;糖尿病;视网膜

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.8.05

Prediction of retinopathy progression through macular layer thickness in diabetic patients detected by optical coherence tomography

Xi Ting, Gu Zheyao, Liu Zhenxing, Sun Ruizhu, Luo Xiangying

Department of Ophthalmology, Suzhou Municipal Hospital; the Affiliated Suzhou Hospital of Nanjing Medical University, Suzhou 215000, Jiangsu Province, China

Correspondence to: Luo Xiangying. Department of Ophthalmology, Suzhou Municipal Hospital; the Affiliated Suzhou Hospital of Nanjing Medical University, Suzhou 215000, Jiangsu Province, China. bqkly@126.com

Received: 2025-01-19 Accepted: 2025-06-16

Abstract

• **AIM:** To predict diabetic retinopathy (DR) progression through macular layer thickness in diabetic patients detected by optical coherence tomography (OCT).

• **METHODS:** Retrospective study. The clinical data of 100 cases (200 eyes) of diabetic patients admitted to our hospital from January 2023 to September 2024 were collected. According to the international clinical DR classification, they were divided into the non-diabetic retinopathy (NDR) group with 32 cases (64 eyes), the non-proliferative diabetic retinopathy (NPDR) group with 38 cases (76 eyes), and the proliferative diabetic retinopathy (PDR) group with 30 cases (60 eyes). At the same time, 49 cases (98 eyes) of healthy controls whose age and gender were matched with those of the diabetic patients were collected as the normal group. All patients underwent OCT examination. The thickness changes of the retinal nerve fiber layer (RNFL), ganglion cell layer (GCL), inner plexiform layer (IPL), outer nuclear layer (ONL), photoreceptor cell layer and total retinal thickness (RT) in the subregions of the macular area were compared among the groups. The Eta coefficient was used to analyze the correlation between them and the severity of DR.

• **RESULTS:** The thickness of RNFL, GCL, IPL, ONL and photoreceptor cell layer in each sub-region and the average of macular area in the PDR group was

significantly lower than that in the NDR and normal groups, while the average RT thickness was significantly higher than that in the NPDR, NDR and normal groups (all $P < 0.05$). The thickness of RNFL (central area, upper inner and outer rings and lower inner and outer rings and average), GCL (upper inner and outer rings and lower inner and outer rings and average), IPL (upper inner ring), ONL (central, upper inner ring and lower inner ring) and photoreceptor cell layer (upper inner and outer rings and lower inner and outer rings and average) in macular area of the PDR group was significantly thicker than that in the NPDR group (all $P < 0.05$). The thickness of RNFL, GCL, IPL, ONL and photoreceptor cell layer in each sub-region and the average of macular area in the NPDR group was significantly lower than that in the NDR and normal groups, while the average RT thickness was significantly thicker than that in the NDR and normal groups (all $P < 0.05$). There was no statistically significant difference in the above indicators between the NDR group and the normal group (all $P > 0.05$). The severity of DR was significantly correlated with the average thickness of RNFL, GCL, IPL, ONL, photoreceptor cell layer and RT in macular area (all $P < 0.001$).

• **CONCLUSION:** OCT measurement of the thickness of RNFL, GCL, IPL, ONL, photoreceptor cell layer and RT in the macular area in the diabetic patients can evaluate the progression of DR.

• **KEYWORDS:** optical coherence tomography (OCT); diabetic retinopathy; diabetes mellitus; retina

Citation: Xi T, Gu ZY, Liu ZX, et al. Prediction of retinopathy progression through macular layer thickness in diabetic patients detected by optical coherence tomography. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2025, 25(8): 1240–1246.

0 引言

糖尿病 (diabetes mellitus, DM) 是一种慢性代谢性疾病,其主要特征为高血糖,全世界约有 4.22 亿人患有 DM^[1]。其中,约 30% 的 DM 患者发生视网膜病变^[2]。糖尿病视网膜病变 (diabetic retinopathy, DR) 是高血糖所致血管功能障碍和神经退行性病变的慢性进行性视网膜表现,可导致视网膜损伤,危及视力,最终导致失明,严重影响患者生活。其患病率随 DM 病程的延长而升高。国际 DM 联合会估计,2020 年全球患有 DR 的成年人约 1.031 亿,到 2045 年,预计增加到 1.605 亿^[3]。早期发现和及时干预是避免 DR 导致失明的关键。

自 1991 年发展以来,光学相干断层扫描 (optical coherence tomography, OCT) 已成为眼科领域不可或缺的诊断工具。基于反射光的干涉,可获得详细的视网膜横截面图像,并测量视网膜各层的厚度。Zerbini 等^[4] 研究显示 DM 引起的视网膜神经变性与 DR 的早期阶段有关,它先于血管功能障碍的发展,是预防的理想起点。神经退行性病变优先引起内层视网膜中神经纤维层 (retinal nerve

fiber layer, RNFL)、神经节细胞层 (ganglion cell layer, GCL) 和内丛状层 (inner plexiform layer, IPL) 的改变,黄斑区的 RNFL 和 GCL 进行性变薄可作为 DR 的生物标志物和药理学靶点^[4-5]。Xiang 等^[6] 研究发现小鼠视网膜中光感受器细胞层和外核层 (outer nuclear layer, ONL) 变薄引起明视反应消失,暗视反应下降。然而,由于方法学、患者病情以及分组的差异,视网膜各层厚度诊断 DR 病情进展的研究结果尚不完全一致,因此,本研究通过 OCT 检测 2 型 DM 患者黄斑区各层厚度预测 DR 进展,以期临床提供依据。

1 对象和方法

1.1 对象 回顾性研究。收集 2023 年 1 月至 2024 年 9 月我院收治的 2 型 DM 患者 100 例 200 眼临床资料,并根据国际临床简化 DR 分级标准 (2002 年)^[7] 分为无糖尿病视网膜病变 (non-diabetic retinopathy, NDR) 组 32 例 64 眼、非增殖性糖尿病视网膜病变 (non-proliferative diabetic retinopathy, NPDR) 组 38 例 76 眼和增殖性糖尿病视网膜病变 (proliferative diabetic retinopathy, PDR) 组 30 例 60 眼。收集同期与糖尿病患者年龄与性别分布相匹配的体检健康者 49 例 98 眼作为正常组 [纳入标准包含 (1)、(3) 和 (4)]。纳入标准: (1) 年龄 ≥ 18 岁; (2) 符合 DM 和 DR 诊断标准^[7-8]; (3) 角膜、晶状体和屈光间质均正常, OCT 成像清晰, 眼压 < 21 mmHg; (4) 临床资料完整。排除标准: (1) 合并颅脑外伤; (2) 合并糖尿病性黄斑水肿及其他非糖尿病导致的视网膜、脉络膜疾病; (3) 合并眼内手术或眼底激光光凝治疗史; (4) 等效球镜 < -3.00 D; (5) 合并青光眼、白内障、泪囊炎、葡萄膜炎等眼科疾病; (6) 合并恶性肿瘤、心血管、内分泌和神经系统等全身系统性疾病以及血液病、免疫系统疾病等引起视神经病变; (7) 合并精神疾病; (8) 合并肝肾功能不全; (9) 单眼患者。本研究经医院伦理委员会批准。所有参与者及家属均签署知情同意书。

1.2 方法 记录各组参与者年龄、性别、糖尿病病程; 清晨采集已夜间禁食 10–12 h 各组参与者空腹静脉血, 采用葡萄糖氧化酶法检测参与者空腹血糖 (fasting plasma glucose, FPG) 水平。所有参与者双眼均行 OCT 检查, 指导参与者坐位以及下颌搁置于托架。选用 “Fast” model, 以黄斑中心凹为中心行垂直方向自下而上的线性扫描 (扫描范围 6 mm \times 6 mm), 三维扫描 (体积扫描), 轴向分辨率为 2 μ m, 横向分辨率为 15 μ m, 高密度扫描 (512 \times 128), 扫描速度为高速扫描。所有患者均扫描 3 次, 取最佳扫描图。使用黄斑区视网膜地形图分析软件对所选取图像进行九分区模式分析 (图 1): 黄斑区分为 3 个同心圆, 分别以黄斑中心凹为中心直径 1、3 和 6 mm。上方外环区 (outer superior, OS); 颞侧外环区 (outer temporal, OT); 下方外环区 (outer inferior, OI); 鼻侧外环区 (outer nasal, ON); 上方内环区 (inner superior, IS); 颞侧内环区 (inner temporal, IT); 下方内环区 (inner inferior, II); 鼻侧内环区 (inner nasal, IN); 中央区 (central, C)。测量各区 RNFL、GCL、IPL、ONL、光感受器细胞层和总视网膜厚度 (retinal thickness, RT), 重复测量 3 次取平均值为最终值。所有检查均由同一位医生完成。

统计学分析:采用 SPSS 26.0 软件对数据进行分析。计数资料用 $n(\%)$ 表示,采用 χ^2 检验。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,多组间比较采用方差分析,两两比较采用 LSD- t 检验。采用 Eta 系数分析定类变量和定距变量的相关性。 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 四组参与者一般资料比较 四组参与者性别和年龄比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 糖尿病病程和 FPG 水平比较差异均有统计学意义 ($P < 0.001$), 进一步两两比较见表 1。

2.2 四组参与者黄斑各分区 RNFL 厚度比较 四组参与者黄斑各分区 RNFL 厚度比较均有统计学意义 ($P < 0.001$), 进一步两两比较结果见表 2。

2.3 四组参与者黄斑各分区 GCL 厚度比较 四组参与者黄斑各分区 GCL 厚度比较差异均有统计学意义 ($P < 0.001$), 进一步两两比较结果见表 3。

2.4 四组参与者黄斑各分区 IPL 厚度比较 四组参与者黄斑各分区 IPL 厚度比较差异均有统计学意义 ($P < 0.001$), 进一步两两比较结果见表 4。

2.5 四组参与者黄斑各分区 ONL 厚度比较 四组参与者黄斑各分区 ONL 厚度比较差异均有统计学意义 ($P < 0.001$), 进一步两两比较结果见表 5。

2.6 四组参与者黄斑各分区光感受器细胞层厚度比较 四组参与者黄斑各分区光感受器细胞层厚度比较差异均有统计学意义 ($P < 0.001$), 进一步两两比较见表 6。

2.7 四组参与者黄斑各分区 RT 厚度比较 四组参与者黄斑各分区 RT 厚度比较差异均有统计学意义 ($P < 0.001$), 进一步两两比较见表 7。

2.8 DR 严重程度与黄斑各分区指标的相关性 DR 严重程度与黄斑区平均 RNFL、GCL、IPL、ONL、光感受器细胞层和 RT 厚度均有相关性 ($P < 0.001$), 见表 8。

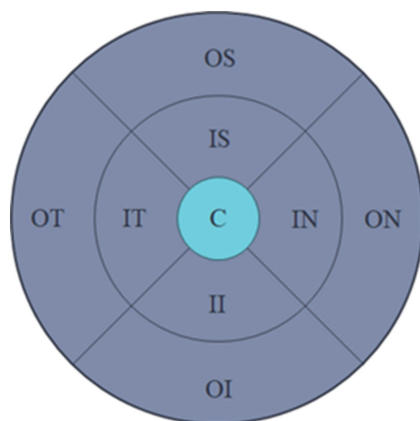


图 1 九分区模式示意图(右眼)。

表 1 四组参与者一般资料比较

分组	例数(眼数)	性别(例,%)		年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	糖尿病病程 ($\bar{x} \pm s$, a)	FPG ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)
		男	女			
正常组	49(98)	25(51.0)	24(49.0)	49.82±6.51		5.02±0.69
NDR 组	32(64)	14(43.8)	18(56.2)	50.47±5.72	2.31±0.97	6.95±0.31 ^a
NPDR 组	38(76)	20(52.6)	18(47.4)	50.00±5.64	4.29±1.43 ^c	7.88±0.41 ^{a,c}
PDR 组	30(60)	17(56.7)	13(43.3)	49.33±6.17	9.70±1.49 ^{a,c,e}	8.15±0.40 ^{a,c,e}
χ^2/F		1.099		0.189	207.900	335.900
P		>0.05		>0.05	<0.001	<0.001

注:正常组为体检健康者;^a $P < 0.05$ vs 正常组;^c $P < 0.05$ vs NDR 组;^e $P < 0.05$ vs NPDR 组。

表 2 四组参与者黄斑分区 RNFL 厚度比较

分组	眼数	平均 ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)				
		C	IS	IT	II	IN
正常组	98	27.00±0.41	11.72±1.80	25.28±1.01	18.56±1.46	24.46±1.98
NDR 组	64	26.55±0.53	11.43±1.45	24.97±1.16	18.27±1.19	24.16±1.76
NPDR 组	76	22.09±0.59 ^{a,c}	8.34±0.85 ^{a,c}	20.22±2.13 ^{a,c}	14.84±1.07 ^{a,c}	20.33±1.72 ^{a,c}
PDR 组	60	23.51±0.59 ^{a,c,e}	9.74±1.27 ^{a,c,e}	22.03±1.69 ^{a,c,e}	15.27±2.22 ^{a,c}	21.58±2.17 ^{a,c,e}
F		1606.000	96.561	195.300	127.102	85.771
P		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

分组	眼数	平均 ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)				
		OS	OT	OI	ON	IN
正常组	98	37.62±2.18	19.16±1.69	38.44±2.58	46.39±2.84	21.35±2.12
NDR 组	64	37.03±2.10	18.53±1.61	37.61±2.46	45.95±2.66	21.00±1.71
NPDR 组	76	30.13±3.28 ^{a,c}	16.24±1.76 ^{a,c}	31.97±3.34 ^{a,c}	39.37±2.02 ^{a,c}	17.37±1.40 ^{a,c}
PDR 组	60	33.53±2.84 ^{a,c,e}	17.06±1.82 ^{a,c}	33.57±2.69 ^{a,c,e}	40.71±2.57 ^{a,c}	18.11±1.21 ^{a,c}
F		107.504	48.790	98.288	150.800	138.176
P		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:C 为中央区;IS 为上方内环区;IT 为颞侧内环区;II 为下方内环区;IN 为鼻侧内环区;OS 为上方外环区;OT 为颞侧外环区;OI 为下方外环区;ON 为鼻侧外环区;正常组为体检健康者;^a $P < 0.05$ vs 正常组;^c $P < 0.05$ vs NDR 组;^e $P < 0.05$ vs NPDR 组。

表3 四组参与者黄斑各分区 GCL 厚度比较

($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

分组	眼数	平均	C	IS	IT	II
正常组	98	41.69±0.85	13.22±2.05	53.61±4.03	46.77±3.77	50.12±3.00
NDR 组	64	41.15±0.88	12.66±1.60	52.66±3.79	45.99±3.73	49.72±2.88
NPDR 组	76	35.84±0.80 ^{a,c}	11.20±1.04 ^{a,c}	46.71±3.01 ^{a,c}	39.30±3.25 ^{a,c}	43.20±3.60 ^{a,c}
PDR 组	60	37.44±0.89 ^{a,c,e}	11.94±1.86 ^{a,c}	49.32±3.19 ^{a,c,e}	41.25±4.87 ^{a,c}	46.55±3.98 ^{a,c,e}
<i>F</i>		869.200	21.891	25.284	21.590	19.037
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

分组	眼数	IN	OS	OT	OI	ON
正常组	98	52.21±4.56	40.49±3.11	39.12±3.76	37.78±2.95	41.85±2.25
NDR 组	64	51.68±4.74	40.19±3.09	38.86±4.11	37.55±2.67	41.04±1.87
NPDR 组	76	46.51±3.62 ^{a,c}	33.97±3.70 ^{a,c}	33.97±3.92 ^{a,c}	32.60±3.93 ^{a,c}	35.12±3.23 ^{a,c}
PDR 组	60	47.61±4.44 ^{a,c}	36.09±3.33 ^{a,c,e}	34.47±4.09 ^{a,c}	35.74±5.35 ^{a,c,e}	36.12±3.35 ^{a,c}
<i>F</i>		15.271	24.452	10.033	20.320	22.500
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:C 为中央区;IS 为上方内环区;IT 为颞侧内环区;II 为下方内环区;IN 为鼻侧内环区;OS 为上方外环区;OT 为颞侧外环区;OI 为下方外环区;ON 为鼻侧外环区;正常组为体检健康者;^a*P*<0.05 vs 正常组;^c*P*<0.05 vs NDR 组;^e*P*<0.05 vs NPDR 组。

表4 四组参与者黄斑各分区 IPL 厚度比较

($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

分组	眼数	平均	C	IS	IT	II
正常组	98	34.01±0.81	19.22±2.81	41.02±3.64	38.47±3.57	40.42±2.87
NDR 组	64	33.59±0.79	18.61±3.07	40.69±3.43	38.17±3.57	40.02±2.75
NPDR 组	76	29.82±0.83 ^{a,c}	14.98±2.82 ^{a,c}	35.47±3.02 ^{a,c}	34.95±2.86 ^{a,c}	36.44±3.33 ^{a,c}
PDR 组	60	30.49±1.08 ^{a,c}	15.91±4.50 ^{a,c}	37.03±4.50 ^{a,c,e}	35.65±2.79 ^{a,c}	36.51±3.44 ^{a,c}
<i>F</i>		15.780	19.602	20.863	15.816	14.100
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

分组	眼数	IN	OS	OT	OI	ON
正常组	98	41.69±3.54	31.86±3.23	31.37±3.20	29.28±2.59	32.72±3.30
NDR 组	64	41.35±3.44	31.43±2.96	31.08±2.84	29.18±2.13	31.76±3.13
NPDR 组	76	36.48±3.92 ^{a,c}	28.12±3.26 ^{a,c}	28.30±3.24 ^{a,c}	25.06±2.97 ^{a,c}	28.61±2.54 ^{a,c}
PDR 组	60	37.62±3.84 ^{a,c}	28.57±3.31 ^{a,c}	28.72±3.41 ^{a,c}	25.35±3.01 ^{a,c}	29.01±2.46 ^{a,c}
<i>F</i>		14.230	13.461	13.414	13.068	15.983
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:C 为中央区;IS 为上方内环区;IT 为颞侧内环区;II 为下方内环区;IN 为鼻侧内环区;OS 为上方外环区;OT 为颞侧外环区;OI 为下方外环区;ON 为鼻侧外环区;正常组为体检健康者;^a*P*<0.05 vs 正常组;^c*P*<0.05 vs NDR 组;^e*P*<0.05 vs NPDR 组。

表5 四组参与者黄斑各分区 ONL 厚度比较

($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

分组	眼数	平均	C	IS	IT	II
正常组	98	66.51±1.19	86.05±4.60	69.41±5.54	74.26±5.35	66.59±3.89
NDR 组	64	66.03±1.17	85.12±4.20	68.44±5.83	73.20±6.75	66.29±3.60
NPDR 组	76	61.20±1.15 ^{a,c}	81.63±4.22 ^{a,c}	61.95±2.60 ^{a,c}	69.12±2.35 ^{a,c}	61.00±3.15 ^{a,c}
PDR 组	60	62.29±0.69 ^{a,c}	83.54±3.95 ^{a,c,e}	63.87±3.24 ^{a,c,e}	69.35±2.39 ^{a,c}	64.28±2.58 ^{a,c,e}
<i>F</i>		14.908	22.111	27.530	10.723	10.365
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

分组	眼数	IN	OS	OT	OI	ON
正常组	98	75.69±3.41	59.89±5.70	58.06±4.78	52.62±4.29	56.02±3.84
NDR 组	64	75.28±3.31	59.67±6.09	57.94±4.90	52.59±3.72	55.78±3.99
NPDR 组	76	71.99±3.60 ^{a,c}	54.74±4.62 ^{a,c}	52.87±4.14 ^{a,c}	45.56±6.12 ^{a,c}	51.94±2.82 ^{a,c}
PDR 组	60	72.36±3.62 ^{a,c}	55.43±3.47 ^{a,c}	53.65±4.11 ^{a,c}	46.12±6.18 ^{a,c}	52.04±2.56 ^{a,c}
<i>F</i>		11.567	10.889	9.939	12.261	22.400
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:C 为中央区;IS 为上方内环区;IT 为颞侧内环区;II 为下方内环区;IN 为鼻侧内环区;OS 为上方外环区;OT 为颞侧外环区;OI 为下方外环区;ON 为鼻侧外环区;正常组为体检健康者;^a*P*<0.05 vs 正常组;^c*P*<0.05 vs NDR 组;^e*P*<0.05 vs NPDR 组。

表6 四组参与者黄斑各分区光感受器细胞层厚度比较

($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

分组	眼数	平均	C	IS	IT	II
正常组	98	15.28±0.30	17.96±2.15	15.88±1.81	15.75±1.59	15.37±1.51
NDR组	64	15.02±0.41	17.52±2.25	15.74±1.76	15.41±1.60	14.99±1.19
NPDR组	76	11.42±0.31 ^{a,c}	14.17±2.57 ^{a,c}	12.20±2.19 ^{a,c}	11.22±1.13 ^{a,c}	10.61±1.50 ^{a,c}
PDR组	60	12.40±0.37 ^{a,c,e}	14.61±2.61 ^{a,c}	13.19±1.75 ^{a,c,e}	11.45±1.05 ^{a,c}	12.05±1.25 ^{a,c,e}
<i>F</i>		30.590	19.832	20.191	35.493	33.448
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

分组	眼数	IN	OS	OT	OI	ON
正常组	98	15.97±1.73	14.07±1.13	14.28±1.16	14.02±1.10	14.17±1.14
NDR组	64	15.92±1.75	13.94±1.23	13.85±1.21	13.94±1.12	13.92±1.11
NPDR组	76	11.56±1.57 ^{a,c}	9.89±1.17 ^{a,c}	11.21±1.20 ^{a,c}	9.91±1.26 ^{a,c}	11.99±1.14 ^{a,c}
PDR组	60	12.01±1.47 ^{a,c}	12.59±1.44 ^{a,c,e}	11.50±0.96 ^{a,c}	12.11±1.16 ^{a,c,e}	12.09±1.25 ^{a,c}
<i>F</i>		37.990	28.891	31.662	40.174	11.500
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:C为中央区;IS为上方内环区;IT为颞侧内环区;II为下方内环区;IN为鼻侧内环区;OS为上方外环区;OT为颞侧外环区;OI为下方外环区;ON为鼻侧外环区;正常组为体检健康者;^a*P*<0.05 vs 正常组;^c*P*<0.05 vs NDR组;^e*P*<0.05 vs NPDR组。

表7 四组参与者黄斑各分区RT厚度比较

($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

分组	眼数	平均	C	IS	IT	II
正常组	98	284.17±4.80	254.33±20.72	304.35±13.65	304.09±14.26	301.94±14.22
NDR组	64	286.62±4.46	257.20±19.68	305.89±14.36	306.04±14.69	304.22±14.20
NPDR组	76	306.92±5.55 ^{a,c}	282.33±23.72 ^{a,c}	326.77±20.01 ^{a,c}	320.41±24.05 ^{a,c}	325.06±14.95 ^{a,c}
PDR组	60	314.32±5.12 ^{a,c,e}	288.70±26.37 ^{a,c}	356.79±39.54 ^{a,c,e}	322.10±21.52 ^{a,c}	339.25±20.98 ^{a,c,e}
<i>F</i>		12.222	32.310	41.529	57.501	25.013
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

分组	眼数	IN	OS	OT	OI	ON
正常组	98	308.18±17.50	265.47±22.01	266.37±20.67	260.92±17.20	291.92±22.31
NDR组	64	310.74±16.72	266.05±19.19	267.54±20.13	261.50±16.17	300.37±33.21
NPDR组	76	321.17±11.34 ^{a,c}	294.66±26.96 ^{a,c}	282.80±20.89 ^{a,c}	283.91±16.59 ^{a,c}	325.18±32.24 ^{a,c}
PDR组	60	321.98±15.24 ^{a,c}	295.24±28.69 ^{a,c}	286.30±21.70 ^{a,c}	288.16±19.67 ^{a,c}	330.36±26.74 ^{a,c}
<i>F</i>		17.446	15.240	17.377	5.225	8.948
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:C为中央区;IS为上方内环区;IT为颞侧内环区;II为下方内环区;IN为鼻侧内环区;OS为上方外环区;OT为颞侧外环区;OI为下方外环区;ON为鼻侧外环区;正常组为体检健康者;^a*P*<0.05 vs 正常组;^c*P*<0.05 vs NDR组;^e*P*<0.05 vs NPDR组。

表8 黄斑各分区指标与DR严重程度的相关性

指标	η	<i>P</i>
RNFL	0.601	<0.001
GCL	0.584	<0.001
IPL	0.467	<0.001
ONL	0.599	<0.001
光感受器细胞层	0.632	<0.001
RT	0.719	<0.001

3 讨论

DR是DM中最常见的微血管并发症,是成年人视力丧失的主要原因。几十年来,DR被认为是一种微血管并发症,临床上根据其血管表现进行分期^[9]。DR根据新生血管形成分为NPDR和PDR两个阶段。NPDR是DR的早期阶段,以血管病变为主,长期可诱发视网膜某些区域的缺血缺氧,从而血管生成因子释放,诱导新生血管形成,

从而加重DR发展为PDR^[10]。由于新形成的血管相对脆弱,易发生视网膜和玻璃体出血,导致牵拉性视网膜脱离和视力丧失,因此PDR是DR患者视力丧失的主要原因。近年来,研究表明,DR会导致早期神经元功能障碍和神经退行性病变,这可能先于血管病变并影响视网膜神经元和神经胶质细胞^[11]。因此早期发现和及时治疗以保护视网膜神经元从而防止DR中的视力丧失至关重要。

DR的结构变化可以用新的成像技术进行定量分析,OCT可以评估不同视网膜层的厚度和体积^[12]。这种方法比检眼镜更客观、更准确,可以识别DR的早期结构改变。本研究结果显示,NDR、NPDR和PDR组患者糖尿病病程和FPG水平均进一步升高,可能与长期高血糖及代谢异常引起血管损伤和神经变性有关,与刁莉莉等^[13]研究结果趋势相似,本研究佐证慢性高血糖被认为会影响视网膜神经节细胞,改变其功能,导致其受损和死亡,从而造成GCL、IPL和RNFL厚度的下降^[14]。本研究中,NPDR和

PDR 组患者黄斑区各分区和平均 RNFL、GCL 和 IPL 厚度明显低于 NDR 和正常组。表明 DM 患者视网膜神经细胞病变先于血管病变。以往国内外研究,多是针对 NPDR、开角型青光眼或视盘周围相关厚度进行研究^[15-17],结果不具有可比性,而本研究针对视网膜各层厚度进行探讨,为后续研究提供大量数据支持。Carpineto 等^[18]研究发现,NPDR 患者黄斑区 RNFL、GCL 和 IPL 厚度明显低于 NDR 患者,与本研究结果一致,但 NDR 患者黄斑区 GCL 和 IPL 厚度明显低于正常组,而本研究中 NDR 和正常组黄斑区 RNFL、GCL 和 IPL 厚度虽有降低,但无明显差异,推测是本研究 NDR 样本数量少或者参与者还未形成病点等原因导致。本研究进一步发现 PDR 组患者黄斑区 RNFL(中央区、上方内外环和下方内外环以及平均)、GCL(方内外环和下方内外环以及平均)和 IPL(上方内环)厚度明显高于 NPDR 组。关于 NPDR 和 PDR 在黄斑区视网膜各层的研究鲜有报道,但熊小艳等^[19]研究表明 NPDR 患者视盘周围 RNFL 厚度变薄提示眼底可能开始出现神经节细胞凋亡,当视盘周围 RNFL 厚度由薄转为增厚则提示出病变的进行性加重从而发展为 PDR。虽与本研究视网膜区域不一致,但结果相似。初步佐证 DM 患者的视网膜神经变性是 DR 早期发病机制,即首先引起视网膜 RNFL、GCL 和 IPL 神经节细胞凋亡,长期发展出现新生血管引起组织水肿导致增厚。本研究发现上、下方 RNFL、GCL 和 IPL 厚度最先发现变化。分析原因为上、下方视神经纤维最密集,而鼻侧和颞侧较为稀疏,上、下方等区域对缺血、缺氧等变化更为敏感,故而其变化情况优先出现。

光感受器细胞由视锥细胞和视杆细胞组成,主要集中在黄斑区,其结构和功能的改变将严重影响视觉质量。ONL 层由光感受器细胞核组成。邬嘉蔚等^[20]研究表明高血糖代谢引起视网膜组织缺氧,而光感受器细胞层对缺氧敏感性较高,代谢过程中产生大量氧自由基,引起光感受器细胞变性、凋亡甚至坏死。同时,DR 进程中小胶质细胞的激活进一步参与视网膜神经血管单元的损伤过程,加重视网膜神经元的损害^[21]。而本研究 NPDR、PDR 组患者黄斑区各区及平均 ONL 和光感受器细胞层厚度相较于正常组和 NDR 组均明显变薄,PDR 组患者黄斑区 ONL(中央、上方内环和下方内环)和光感受器细胞层(上方内外环和下方内外环以及平均)厚度明显高于 NPDR 组,结果不一致,可能与 NPDR 和 PDR 的严重程度有关。本研究结果更精细的表述早期 DR 视网膜病变轨迹,随着 DR 的进展,视网膜各层出现轻度水肿增厚等,从而抵消细胞凋亡导致的变薄。本研究结果还发现,NPDR、PDR 组患者黄斑区 RT 厚度明显增加,与既往研究^[22]相符。说明 DR 由于长期严重的视网膜内微循环异常造成毛细血管渗漏及液体长期积存于外丛状层,因而出现组织水肿、硬性及软性渗出以及视网膜新生血管形成,并在视网膜各层可出现大小不等的液性腔隙引起水肿增厚^[23]。本研究相关性分析显示 DR 严重程度与黄斑区平均 RNFL、GCL、IPL、ONL、光感受器细胞层和 RT 厚度有一定的相关性,揭示随 DR 病情的进展,患者黄斑区平均 RNFL、GCL、IPL、ONL、光感受器细胞层逐渐减少,黄斑 RT 厚度逐渐增厚,但发展至新生血管阶段时黄斑区平均 RNFL、GCL、IPL、

ONL、光感受器细胞层会出现增厚。表明临床可早期通过观察以上指标变化为 DR 诊治提供可靠依据,从而缓解患者病情。

综上所述,OCT 检测黄斑区 RNFL、GCL、IPL、ONL、光感受器细胞层和 RT 厚度能评估 DR 病情进展。但由于本研究样本量较少、对象来源较为单一,研究结果可能存在一定误差。此外本研究首次报道黄斑区 RNFL、GCL、IPL、ONL 和光感受器细胞层厚度在 DR 发展中存在先变薄后增厚情况,后续还需扩大样本数量、细化疾病分型及研究范围进行多方位探讨,确定结果准确性。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。

作者贡献声明: 奚婷论文选题与修改,初稿撰写;顾喆瑶、刘振兴、孙瑞竹文献检索,数据分析;雒向颖选题指导,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] Poráčová J, Nagy M, Mydlárová Blaščáková M, et al. Diabetes mellitus and its influence on the incidence and process of diabetic retinopathy. *Cent Eur J Public Health*, 2023,31(Suppl 1):S4-S9.
- [2] Yang ZW, Tan TE, Shao Y, et al. Classification of diabetic retinopathy: Past, present and future. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022,13:1079217.
- [3] Teo ZL, Tham YC, Yu M, et al. Global prevalence of diabetic retinopathy and projection of burden through 2045: systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*, 2021,128(11):1580-1591.
- [4] Zerbini G, Maestroni S, Viganò I, et al. Progressive thinning of retinal nerve fiber layer/ganglion cell layer (RNFL/GCL) as biomarker and pharmacological target of diabetic retinopathy. *Int J Mol Sci*, 2023,24(16):12672.
- [5] van de Kreeke JA, Darma S, Chan Pin Yin JMPL, et al. The spatial relation of diabetic retinal neurodegeneration with diabetic retinopathy. *PLoS One*, 2020,15(4):e0231552.
- [6] Xiang L, Chen XJ, Wu KC, et al. miR-183/96 plays a pivotal regulatory role in mouse photoreceptor maturation and maintenance. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2017,114(24):6376-6381.
- [7] Wilkinson CP, Ferris FL, Klein RE, et al. Proposed international clinical diabetic retinopathy and diabetic macular edema disease severity scales. *Ophthalmology*, 2003,110(9):1677-1682.
- [8] Harreiter J, Roden M. Diabetes mellitus-Definition, classification, diagnosis, screening and prevention (Update 2019). *Wien Klin Wochenschr*, 2019,131(Suppl 1):6-15.
- [9] Cunha-Vaz J, Faria de Abreu JR, Campos AJ. Early breakdown of the blood-retinal barrier in diabetes. *Br J Ophthalmol*, 1975,59(11):649-656.
- [10] Zhou J, Chen B. Retinal cell damage in diabetic retinopathy. *Cells*, 2023,12(9):1342.
- [11] Heng LZ, Comyn O, Peto T, et al. Diabetic retinopathy: pathogenesis, clinical grading, management and future developments. *Diabet Med*, 2013,30(6):640-650.
- [12] Fernández-Espinoza G, Orduna-Hospital E, Boned-Murillo A, et al. Choroidal and retinal thicknesses in type 2 diabetes mellitus with moderate diabetic retinopathy measured by swept source OCT. *Biomedicine*, 2022,10(9):2314.
- [13] 刁莉莉,史雪辉,张丛,等. 糖尿病视网膜病变不同分期视网膜神经纤维层、神经节细胞层及内丛状层厚度变化及其意义. *临床眼科杂志*, 2020,28(6):481-486.
- [14] Boned-Murillo A, Fernández-Espinoza G, Orduna-Hospital E, et

al. Changes in inner retina thickness and macular sensitivity in patients with type 2 diabetes with moderate diabetic retinopathy. *Biomedicines*, 2023,11(11):2972.

[15] 周紫霞, 吴蓉, 傅培, 等. 双眼黄斑区神经节细胞-内丛状层厚度与视神经纤维层不对称分析在早期开角型青光眼诊断中的价值. *临床眼科杂志*, 2017,25(5):409-412.

[16] 张树军, 黄帅, 李娃娃, 等. 不同分期 DR 患者视网膜神经纤维层厚度和视网膜厚度及血流密度的变化. *国际眼科杂志*, 2025, 25(5):714-717.

[17] Li XD, Xie XJ, Su XJ, et al. Characterization of peripheral blood inflammatory indicators and OCT imaging biological markers in diabetic retinopathy with or without nephropathy. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2023,14:1160615.

[18] Carpineto P, Toto L, Aloia R, et al. Neuroretinal alterations in the early stages of diabetic retinopathy in patients with type 2 diabetes

mellitus. *Eye*, 2016,30(5):673-679.

[19] 熊小艳, 毛新帮, 王婵婵, 等. 视网膜神经纤维层厚度与糖尿病视网膜病变程度的相关性研究. *眼科新进展*, 2011,31(5):438-440.

[20] 邹嘉蔚, 符敏, 柯晓云, 等. 无糖尿病视网膜病变的 2 型糖尿病患者黄斑区视网膜厚度变化: 基于 SD-OCT 的观察. *眼科新进展*, 2018,38(3):273-276.

[21] 陈志, 王子佩, 李红. 小胶质细胞在糖尿病视网膜病变视网膜神经血管单元中的作用. *国际眼科杂志*, 2024,24(5):731-736.

[22] 罗洁, 赵菊莲, 李小平, 等. 频域光学相干断层扫描对糖尿病患者黄斑部视网膜厚度分区测定的研究. *眼科新进展*, 2012,32(2):163-165.

[23] Mititelu M, Uschner D, Doherty L, et al. Retinal thickness and morphology changes on OCT in youth with type 2 diabetes findings from the TODAY study. *Ophthalmol Sci*, 2022,2(4):100191.

2024 版《中国科技期刊引证报告》核心版眼科期刊主要指标及排名 (以综合评价总分为序)

期刊名称	核心总被引频次		核心影响因子		综合评价总分	
	数值	排名	数值	排名	数值	排名
中华眼科杂志	2013	2	1.328	1	63.8	1
国际眼科杂志	2806	1	1.125	2	58.2	2
眼科新进展	1208	3	0.826	3	52.7	3
中国眼耳鼻喉科杂志	423	7	0.542	7	40.9	4
中华眼科医学杂志电子版	173	11	0.318	10	32.0	5
中华实验眼科杂志	924	4	0.614	5	30.2	6
中华眼底病杂志	684	6	0.549	6	29.1	7
临床眼科杂志	336	8	0.278	11	23.0	8
中华眼视光学与视觉科学杂志	764	5	0.767	4	22.9	9
眼科	292	9	0.323	9	19.8	10
中国斜视与小儿眼科杂志	236	10	0.385	8	13.4	11

摘编自 2024 版《中国科技期刊引证报告》核心版