

· 临床研究 ·

特发性黄斑前膜锥细胞及微血管分布特征

吴江¹ 叶昕¹ 周湘鹏² 何书宸¹ 沈迎娇¹ 沈丽君¹¹浙江省人民医院 杭州医学院附属人民医院眼科, 杭州 310000; ²温州医科大学研究生培养基地(浙江省人民医院), 杭州 310000

通信作者: 沈丽君, Email: slj@mail. eye. ac. cn

【摘要】 目的 利用多模态成像技术评估特发性黄斑前膜(IERM)锥细胞密度及视网膜微血管分布特征。**方法** 采用自身对照研究, 纳入 2023 年 11 月至 2025 年 4 月于浙江省人民医院眼科确诊的 IERM 单眼发病患者 28 例 56 眼, 记录其最佳矫正视力(BCVA)。采用共焦激光扫描眼底摄影(CSLO)定量测定 2.4 mm×2.4 mm 黄斑区锥细胞密度。采用光学相干断层扫描血流成像(OCTA)评估黄斑区 6 mm×6 mm 浅层血管复合体(SVC)和深层血管复合体(DVC)血管密度、中心凹无血管区(FAZ)面积和周长。比较 IERM 组与对侧眼组视力和锥细胞密度及视网膜微血管相关参数; 评估各变量与黄斑区平均锥细胞密度之间的相关性。**结果** IERM 组 BCVA 为 0.40(0.30, 0.52), 较对侧眼组的 0.10(0.00, 0.20)视力更差, 差异有统计学意义($Z=-4.546, P<0.001$)。IERM 组黄斑区、颞上、颞下、鼻上、鼻下平均锥细胞密度均明显高于对侧眼组, 差异均有统计学意义($t=5.453, 5.272, 4.815, 5.959, 5.698$, 均 $P<0.001$)。IERM 组 SVC 血管密度显著高于对侧眼组, FAZ 面积和周长显著小于对侧眼组, 差异均有统计学意义($t=2.300, -3.465, -2.729$, 均 $P<0.05$); 2 个组 DVC 血管密度差异无统计学意义($t=-1.898, P=0.123$)。相关性分析显示, IERM 眼黄斑区平均锥细胞密度与 BCVA 呈正相关($r_s=0.363, P=0.006$), 与 FAZ 面积呈负相关($r=-0.297, P=0.048$), 与 SVC 血管密度、DVC 血管密度及 FAZ 周长均无显著相关性($r=-0.003, -0.216, -0.197$, 均 $P>0.05$)。**结论** IERM 眼锥细胞密度和 SVC 血管密度增加, FAZ 面积减小, 且锥细胞密度与 FAZ 面积呈负相关。CSLO 联合 OCTA 有助于全面评估 IERM 视网膜微结构。

【关键词】 黄斑前膜; 中心凹; 锥细胞密度; 视网膜微血管; 共焦激光扫描眼底摄影**基金项目:** 国家重点研发计划(2022YFC2404305); 上海市视觉损害与重建重点实验室开放课题(20DZ2271700)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250613-00200

Cone and retinal microvasculature distribution characteristics with idiopathic epiretinal membraneWu Jiang¹, Ye Xin¹, Zhou Xiangpeng², He Shucheng¹, Shen Yingjiao¹, Shen Lijun¹¹Department of Ophthalmology, Zhejiang Provincial People's Hospital, Affiliated People's Hospital, Hangzhou Medical College, Hangzhou 310000, China; ²Postgraduate Training Base, Wenzhou Medical University (Zhejiang Provincial People's Hospital), Hangzhou 310000, China

Corresponding author: Shen Lijun, Email: slj@mail. eye. ac. cn

【Abstract】 Objective To investigate cone density and retinal microvascular distribution characteristics in idiopathic epiretinal membrane (IERM) by utilizing multimodal imaging techniques. **Methods** A self-controlled study was conducted. Twenty-eight patients (56 eyes) with unilateral IERM diagnosed at the Department of Ophthalmology, Zhejiang Provincial People's Hospital from November 2023 to April 2025 were enrolled. Patients' best-corrected visual acuity (BCVA) was recorded. Cone density in the 2.4 mm×2.4 mm macular area was quantitatively measured using confocal scanning laser ophthalmoscopy (CSLO). The vascular density in both the superficial vascular complex (SVC) and deep vascular complexes (DVC), along with the foveal avascular zone (FAZ) area and perimeter within the 6 mm×6 mm macular region, were assessed by optical coherence tomography angiography (OCTA). Visual acuity, cone density, and retinal microvascular parameters were compared between the IERM group and the fellow-eye group. The correlations between each variable and the mean macular cone density were analyzed. This study complied with the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics

Review Committee of Zhejiang Provincial People's Hospital (No. KY2024038). Informed consent was obtained from all participants before undergoing any examination. **Results** The BCVA (logMAR) in the IERM group was 0.40 (0.30, 0.52), which was significantly poorer than 0.10 (0.00, 0.20) in the fellow-eye group, showing a statistically significant difference ($Z = -4.546$, $P < 0.001$). The mean cone densities in the macular region, superotemporal, inferotemporal, superonasal, and inferonasal regions in the IERM group were significantly higher than those in the fellow-eye group ($t = 5.453, 5.272, 4.815, 5.959, 5.698$; all $P < 0.001$). The SVC vascular density in the IERM group was significantly higher than that in the fellow-eye group, while the FAZ area and perimeter were significantly lower, and the differences were statistically significant ($t = 2.300, -3.465, -2.729$, all $P < 0.05$). No significant difference was observed in DVC vascular density between the two groups ($t = -1.898$, $P = 0.123$). Correlation analysis showed that the mean macular cone density was positively correlated with BCVA ($r_s = 0.363$, $P = 0.006$) and negatively correlated with FAZ area ($r = -0.297$, $P = 0.048$), but was not significantly correlated with SVC vascular density, DVC vascular density, or FAZ perimeter ($r = -0.003, -0.216, -0.197$; all $P > 0.05$) in IERM eyes. **Conclusions** In IERM eyes, cone density and SVC vascular density are increased, FAZ area is decreased, and cone density is negatively correlated with FAZ area. CSLO combined with OCTA may facilitate a comprehensive evaluation of retinal microstructure.

[Key words] Epiretinal membrane; Fovea centralis; Cone density; Retinal microvasculature; Confocal scanning laser ophthalmoscopy

Fund program: National Key Research and Development Program of China (2022YFC2404305); Shanghai Key Laboratory of Visual Impairment and Restoration (20DZ2271700)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250613-00200

特发性黄斑前膜 (idiopathic epiretinal membrane, IERM) 是以黄斑区慢性进行性视网膜前纤维增生为特征的退行性病变,增生膜的形成与收缩可导致黄斑结构异常^[1]。IERM 好发于 65 岁以上女性人群,可导致视物变形和视力下降^[2-3],视网膜感光细胞受损可能是视功能损害的主要原因。研究发现,IERM 患者的光感受器内节/外节连续性中断,提示光感受器结构损伤^[4]。也有研究观察到 IERM 眼的中心凹无血管区 (foveal avascular zone, FAZ) 面积减小及中心凹旁血管密度降低^[5]。然而这些视网膜微血管异常与锥细胞变化的关联尚未阐明。本研究旨在联合应用共焦激光扫描眼底摄影 (confocal scanning laser ophthalmoscopy, CSLO) 与光学相干断层扫描血流成像 (optical coherence tomography angiography, OCTA), 对比分析 IERM 单眼发病患者双眼黄斑区锥细胞及视网膜微血管特征,以期为 IERM 临床无创评估及早期诊断提供新见解。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用自身对照研究,纳入 2023 年 11 月至 2025 年 4 月于浙江省人民医院眼科确诊的 IERM 单眼发病患者 28 例 56 眼,其中男 9 例,女 19 例;年龄 29~76 岁,平均 (64.68 ± 10.03) 岁。纳入标准: (1) IERM 为 Govetto 分期^[6] II 期及以上且为单眼发病; (2) 对侧眼

中心凹形态正常,轮廓完整,视网膜层间结构清晰。排除标准: (1) 有继发性黄斑前膜或对侧眼存在引起视网膜及视神经改变的其他眼病者,如高度近视、年龄相关性黄斑变性、青光眼、视网膜脱离、视网膜静脉阻塞、脉络膜新生血管等; (2) 既往有玻璃体视网膜手术史者; (3) 屈光介质混浊者。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,研究方案经浙江省人民医院伦理委员会审核批准 (批文号: KY2024038), 患者均已签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 基本检查 所有患者均进行最佳矫正视力 (best-corrected visual acuity, BCVA)、裂隙灯显微镜检查, BCVA 转换为 logMAR 视力进行统计分析。采用 IOLMaster 700 (美国 Carl Zeiss 公司) 测量眼轴长度。

1.2.2 锥细胞及微血管分布特征参数采集 所有检查均由同一眼科医师完成。 (1) CSLO 检查 采用 CSLO (苏州微清医疗器械有限公司) 进行图像采集,采集前嘱受检者注视内置蓝色圆形指示灯,找准光源向前推仪器直至图像充盈整个显示屏,调整焦距至图像清晰,行眼底照相 (图 1A)。采集一段 15 s 左右的黄斑区 8° 范围锥细胞视频,使用内置软件自动配准并生成大小为 $2.4 \text{ mm} \times 2.4 \text{ mm}$ 的锥细胞图像,手动选取尺寸为 $1.2 \text{ mm} \times 1.2 \text{ mm}$ 的 4 个象限,分别为颞上、颞下、鼻上和鼻下 (图 1B)。使用内置软件自动识别并分割该选取区域,生成锥细胞分布图并自动计数锥细胞,

记录各象限及黄斑区平均锥细胞密度(图 1C)。锥细胞密度定义为指定区域内的锥细胞数量与面积的比值(个/ mm^2)。每个象限测算 3 次,取平均值,以 4 个象限的平均值作为黄斑区平均锥细胞密度。(2)OCTA 检查 采用 OCTA(VG 200,河南视微影像科技有限公司)采集图像,以黄斑中心凹为中心,扫描模式为 $6\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ (即 512×512 像素)。每个 B 扫描由 512 次 A 扫描组成,每个位置重复扫描 4 次。基于 Bennett 公式^[7]校正眼轴影响的屈光放大效应,降低不同眼球屈光状态对黄斑微血管密度定量测量的影响。使用仪器内置软件自动分割和量化浅层血管复合体(superficial vascular complex, SVC)血管密度、深层血管复合体(deep vascular complex, DVC)血管密度(图 2A、B),分别记录颞上、颞下、鼻上和鼻下 4 个象限(尺寸为 $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$)的血管密度平均值,同时自动分割和量化 FAZ 面积和周长(图 2C)。血管密度定义为血管面积与测量总面积的比值(%)。SVC 定义为内界膜上 $5\text{ }\mu\text{m}$ 至神经节细胞层内 $1/3$ 处。DVC 定义为神经节细胞层外 $2/3$ 处至内核层/外丛状层下 $25\text{ }\mu\text{m}$ 处。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。计量资料经 Shapiro-Wilk 检验证实符合正态分布者以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2 个组各参数比较采用配对 t 检验;不符合正态分布者以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,2 个组各参数比较采用 Wilcoxon 符号秩和检验。采用 Spearman 秩相关分析评估 BCVA 与黄斑区平均锥细胞密度之间的相关性;采用 Pearson 相关分析评估 FAZ 面积与黄斑区平均锥细胞密度之间的相关性。采用双侧检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 IERM 组与对侧眼组视力和锥细胞密度及视网膜微血管相关参数比较

IERM 组 BCVA 为 $0.40(0.30, 0.52)$, 较对侧眼组

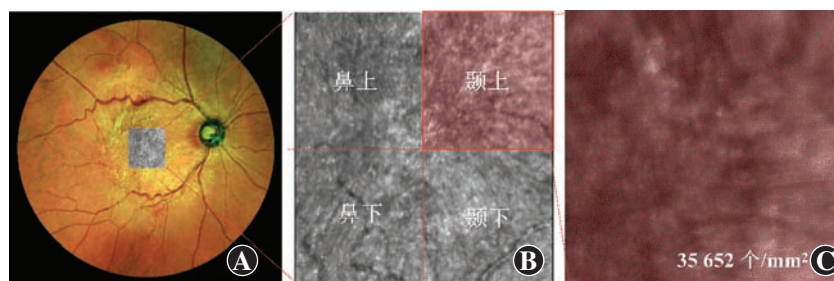


图 1 IERM 眼黄斑区平均锥细胞密度分区示意图 A:黄斑区 8° CSLO 图像叠加于同一眼的 60° 眼底彩照 B:以黄斑为中心的 $2.4\text{ mm} \times 2.4\text{ mm}$ CSLO 锥细胞影像分为颞上、颞下、鼻上、鼻下 4 个象限(红色虚线) C:利用内置 CSLO 软件对黄斑区进行锥细胞边界分割和平均锥细胞密度自动计数。在眼轴为 23.45 mm 的前提下,颞上方的锥细胞密度为 $35\,652\text{ 个}/\text{mm}^2$ IERM:特发性黄斑前膜;CSLO:共焦激光扫描眼底摄影

Figure 1 Schematic diagram of mean cone cell density measuring regions in the macular area of an eye with IERM A: An 8° macular CSLO image merged on a 60° fundus photograph of the same eye B: The $2.4\text{ mm} \times 2.4\text{ mm}$ fovea-centered CSLO cone image was divided into four quadrants: superotemporal, inferotemporal, superonasal and inferonasal (red dashed lines) C: Cone boundaries were segmented and mean cone density was automatically calculated in the macular region using the built-in CSLO software. In this case, with an axial length of 23.45 mm , the cone density in the superotemporal quadrant was $35\,652\text{ cells}/\text{mm}^2$ IERM: idiopathic epiretinal membrane; CSLO: confocal scanning laser ophthalmoscopy

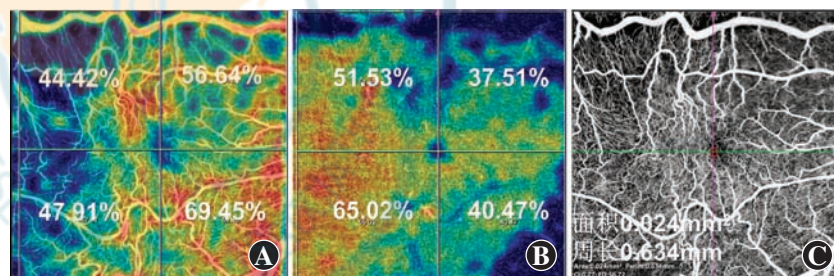


图 2 IERM 眼黄斑区血管分割区域报告示意图 A、B: OCTA 分别定量检测 SVC 和 DVC 在颞上、颞下、鼻上、鼻下 4 个象限的血管密度数值 C: 该眼 FAZ 面积为 0.024 mm^2 , FAZ 周长为 0.634 mm (红色实线) IERM:特发性黄斑前膜;OCTA:光学相干断层扫描血流成像;SVC:浅层血管复合体;DVC:深层血管复合体;FAZ:中心凹无血管区

Figure 2 Schematic diagram of vascular segmentation regions in the macular area of an eye with IERM A, B: Vessel density values of SVC and DVC in the superotemporal, inferotemporal, superonasal, and inferonasal quadrants measured by OCTA C: The FAZ area and perimeter of this eye were 0.024 mm^2 and 0.634 mm , respectively (red solid line) IERM: idiopathic epiretinal membrane; OCTA: optical coherence tomography angiography; SVC: superficial vascular complex; DVC: deep vascular complex; FAZ: foveal avascular zone

的 $0.10(0.00, 0.20)$ 视力更差,差异有统计学意义($Z = -4.546, P < 0.001$)。IERM 组黄斑区、颞上、颞下、鼻上、鼻下平均锥细胞密度均明显高于对侧眼组,差异均有统计学意义($t = 5.453, 5.272, 4.815, 5.959, 5.698$, 均 $P < 0.001$)(表 1)。IERM 组 SVC 血管密度显著高于对侧眼组,FAZ 面积和周长显著小于对侧眼组,差异均有统计学意义($t = 2.300, -3.465, -2.729$, 均 $P < 0.05$);2 个组 DVC 血管密度差异无统计学意义($t = -1.898, P = 0.123$)。IERM 组和对侧眼组 DVC 血管密度均高于 SVC 血管密度(表 2)。



表 1 IERM 组与对侧眼组平均锥细胞密度比较($\bar{x}\pm s$, 个/ mm^2)Table 1 Comparison of average cone cell density between the IERM group and the fellow-eye group ($\bar{x}\pm s$, cells/ mm^2)

组别	眼数	黄斑区	颞上	颞下	鼻上	鼻下
IERM 组	28	36 471.79 $\pm$ 7 502.72	36 751.21 $\pm$ 7 967.49	36 257.57 $\pm$ 7 464.17	36 644.35 $\pm$ 7 412.06	36 234.05 $\pm$ 7 315.25
对侧眼组	28	28 722.65 $\pm$ 9 233.89	29 131.95 $\pm$ 9 396.62	28 799.89 $\pm$ 9 532.82	28 573.29 $\pm$ 9 095.36	28 385.45 $\pm$ 9 048.02
<i>t</i> 值		5.453	5.272	4.815	5.959	5.698
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:(配对 *t* 检验) IERM:特发性黄斑前膜Note: (Paired *t*-test) IERM: idiopathic epiretinal membrane

2.2 IERM 眼锥细胞密度与各指标的相关性分析

相关性分析显示,IERM 眼黄斑区平均锥细胞密度与 BCVA 呈正相关($r_s=0.363$, $P=0.006$),与 FAZ 面积呈负相关($r=-0.297$, $P=0.048$)(图 3);黄斑区平均锥细胞密度与 SVC 血管密度、DVC 血管密度及 FAZ 周长均无显著相关性($r=-0.003$ 、 -0.216 、 -0.197 ,均 $P>0.05$)。

3 讨论

本研究为国内首项基于 CSLO 评估 IERM 患者黄斑区平均锥细胞密度,并通过 OCTA 评估黄斑区微血管密度的研究。系统分析了黄斑区锥细胞结构特征及微血管分布特征,探讨其平均锥细胞密度及血流相关参数的临床诊断价值。结果显示,与对侧眼组相比,

IERM 组黄斑区平均锥细胞密度及 SVC 血管密度升高,FAZ 面积和周长减小,黄斑区平均锥细胞密度与 FAZ 面积呈负相关。

IERM 视觉功能的病理机制已成为眼科学领域的重要研究方向,其伴随的视力障碍可能由视网膜感光细胞形态和功能受损所致,极大影响中老年人的生活质量,认识导致光感受器破坏的潜在疾病过程可能有助于预测视力预后。本研究结果显示,IERM 导致严重的视功能损伤,IERM 眼 BCVA 显著差于对侧眼。既往研究表明,视功能损伤可能与黄斑区结构缺陷有关。IERM 牵拉可能引起黄斑区结构改变,如血管移位、视网膜层增厚等^[8],进而导致视力下降和视物变形。多项 OCTA 研究显示,BCVA 与黄斑中心凹厚度及旁中心凹厚度呈负相关,内层视网膜增厚是视力损害的主要因素之一,而外层视网膜结构改变与视力关联较弱。术后视力恢复不仅与视网膜厚度相关,也与 FAZ 面积尤其是浅层 FAZ 的扩大有关。血管弯曲度增

表 2 IERM 组与对侧眼组视网膜微血管相关参数比较($\bar{x}\pm s$)Table 2 Comparison of retinal microvascular related parameters between the IERM group and the fellow-eye group ($\bar{x}\pm s$)

组别	眼数	SVC 血管密度(%)	DVC 血管密度(%)	FAZ 面积(mm^2)	FAZ 周长(mm)
IERM 组	28	41.18 $\pm$ 7.42	42.61 $\pm$ 9.25	0.21 $\pm$ 0.17	1.91 $\pm$ 0.99
对侧眼组	28	38.07 $\pm$ 5.20	46.82 $\pm$ 6.42	0.35 $\pm$ 0.11	2.42 $\pm$ 0.47
<i>t</i> 值		2.300	-1.898	-3.465	-2.729
<i>P</i> 值		0.032	0.123	0.002	0.013

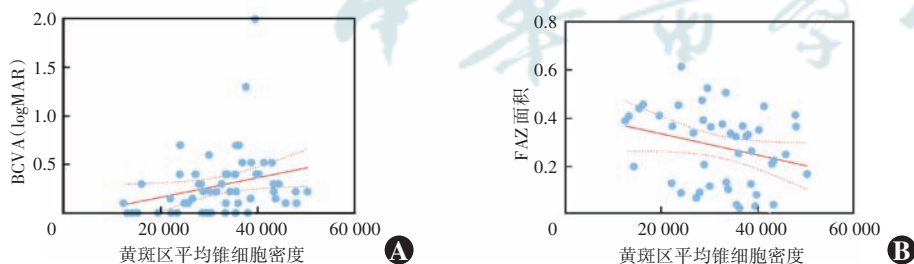
注:(配对 *t* 检验) IERM:特发性黄斑前膜;SVC:浅层复合体;DVC:深层复合体;FAZ:中心凹无血管区Note: (Paired *t*-test) IERM: idiopathic epiretinal membrane; SVC: superficial vascular complex; DVC: deep vascular complex; FAZ: foveal avascular zone

图 3 IERM 眼黄斑区平均锥细胞密度与各指标的相关性散点图($n=28$) A: 黄斑区平均锥细胞密度与 BCVA 呈正相关($r_s=0.363$, $P=0.006$; Spearman 秩相关分析) B: 黄斑区平均锥细胞密度与 FAZ 面积呈负相关($r=-0.297$, $P=0.048$; Pearson 相关分析) 图中实线为回归拟合线,虚线代表 95% 置信区间 BCVA: 最佳矫正视力; FAZ: 中心凹无血管区; IERM: 特发性黄斑前膜

Figure 3 Scatter plots of the correlation between mean cone cell density in the macular area and various indicators ($n=28$) A: The mean cone cell density in the macular area was positively correlated with BCVA ($r_s=0.363$, $P=0.006$; Spearman rank correlation analysis) B: The mean cone cell density in the macular area was negatively correlated with FAZ area ($r=-0.297$, $P=0.048$; Pearson correlation analysis) The solid line represented the regression fit line, and the dashed lines indicated the 95% confidence interval BCVA: best-corrected visual acuity; FAZ: foveal avascular zone; IERM: idiopathic epiretinal membrane

加与 BCVA 下降呈负相关,术后血管弯曲度降低可能提示视功能改善^[9]。此外,位于视网膜外层的锥细胞密度作为评估精细视功能的关键微观结构参数,其与视力的潜在关联近年来备受关注,定量分析锥细胞密度可能有助于预测黄斑区结构损伤情况^[10],Ishikura 等^[11]使用自适应光学 OCT 观察到 IERM 眼锥细胞密度增加。赵玥等^[12]测量 56 岁左右健康人群中心凹 3° 处 2.4°×2.4° 范围锥细胞密度为 (10 907.50±490.86) 个/mm²,与本研究对侧眼组相比更低。本研究使用的 CSLO 可清晰显示锥细胞,锥细胞在图像中呈现为亮度较高且体积较大的圆形结构。已有研究证实 CSLO 所测得的锥细胞密度和空间排列数据与组织学结果高度一致^[13],证明了该技术用于细胞级定量分析的可靠性。本研究中,IERM 组锥细胞密度显著高于对侧眼组,该结果与既往研究结果一致。IERM 眼锥细胞密度增加可能有 2 个原因:一方面,可能与前膜收缩性机械牵引力有关。IERM 形成的收缩性膜对视网膜表面施加水平收缩力和垂直牵引力,可能通过 Müller 细胞介导的力学传导影响视网膜结构;其机制为水平收缩力作用于 Müller 细胞的基底膜(即内界膜),基于黄斑区后凸的解剖特点,该牵引矢量可转化为垂直方向的作用力,致使 Müller 细胞的生理性 Z 形排列转变为病理性垂直排列^[11]。这种生物力学改变可以维持视网膜的机械稳定,引发锥细胞间距缩小,导致密度测量值呈现假性增高,非实际细胞增殖。另一方面,黄斑前膜的褶皱可能通过改变视网膜表面形状,增强锥细胞反射的光信号强度,即反光率增加^[14]。依赖探测光反射点来识别和计数细胞的密度测量算法,可能会将这些增强的信号(表现为更多的亮点)错误地解释为存在更多的锥细胞,从而导致测量的密度值偏高,与真实的细胞数量存在一定偏差。本研究的相关性分析显示锥细胞密度病理性改变可能导致视力下降,说明黄斑区平均锥细胞密度的病理改变与视功能损伤程度可能存在关联,但其具体机制仍需进一步研究证实。

Chen 等^[14]发现 IERM 组中心凹 SVC 和 DVC 血管密度较对侧眼组增加。而本研究仅观察到 IERM 组 SVC 血管密度较对侧眼组显著升高,DVC 血管密度与对侧眼组相比未观察到显著性差异。此差异可能源于 2 项研究采用了不同的分层边界,这一技术性差异引入了视网膜分层误差,进而影响了各层血管密度的测量精度。FAZ 对缺血性改变具有高度敏感性,可作为微血管病变的临床评估指标。Mavi Yildiz 等^[15]发现与对侧眼相比,IERM 各分期的平均 FAZ 面积均显著减小,本研究结果亦显示 IERM 组 FAZ 面积明显低于

对侧眼。其原因可能在于黄斑前膜收缩产生向心性收缩牵拉力,使得血管向中心凹区域移位,导致原本无血管的 FAZ 受到周围毛细血管侵入,造成 FAZ 面积缩小。此外,本研究发现 IERM 组与对侧眼组 DVC 血管密度均大于 SVC 血管密度,符合正常的视网膜血管分层特征,可能与其承担更丰富的营养供应功能有关。

本研究采用 IERM 单眼发病患者的对侧健康眼作为对照,有效控制了个体差异及混杂因素,显著提升结果可靠性。本研究存在一定局限性:CSLO 存在锥细胞分析窗格(2.4 mm×2.4 mm)与血管密度评估窗格(6 mm×6 mm)尺寸的差异,且 CSLO 无法完全消除人眼生理颤动所致的像差,残余像差的存在会导致图像退化^[16]。老年受试者由于眼内屈光介质混浊和瞳孔缩小,可能会导致图像分辨率降低。此外,本研究为回顾性设计,可能存在数据偏倚和混杂因素带来的干扰。且未对视网膜结构与功能进行深入研究。

本研究结果显示,CSLO 能够有效评估 IERM 患者的锥细胞空间分布特征。玻璃体视网膜界面异常产生的向心性收缩力可能是导致 IERM 患者黄斑区锥细胞密度改变及微血管结构紊乱的重要生物力学因素。这些发现为理解 IERM 的病理生理机制提供了新的影像学证据,提示临床应重视对视网膜生物力学环境的评估。未来需通过纵向研究结合功能学检测(如多焦视网膜电图、微视野),进一步明确 IERM 进展中视网膜结构与视功能损伤的演变规律。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 吴江:试验设计、数据采集与分析、文章撰写与修改;叶昕:理论指导、文章修改;周湘鹏:数据采集与分析;何书成、沈迎妍:样本采集、文章修改;沈丽君:理论指导、文章审阅及定稿

参考文献

- [1] 焦明菲,李筱荣.特发性黄斑前膜治疗的相关研究[J].中华实验眼科杂志,2021,39(7):645-648. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20201104-00738.
- [2] 梁曦达,王怡,刘丽梅,等.特发性黄斑前膜手术前后视物变形变化及影响因素[J].中华实验眼科杂志,2019,37(1):21-28. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.01.005.
- [3] Tsuda K, Miyata M, Kawai K, et al. Relationship between binocular vision and Govetto's stage in monocular idiopathic epiretinal membrane [J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 20442. DOI: 10.1038/s41598-024-71594-x.
- [4] Wang N, Peng A, Li S, et al. Clinic study on macular epiretinal membrane in patients under the age of 40 years[J]. BMC Ophthalmol, 2023, 23(1): 79. DOI: 10.1186/s12886-023-02813-8.
- [5] 毛剑波,劳吉梦,俞雪婷,等.特发性黄斑前膜 OCTA 检查结果的改变及其与视力的关系[J].中华眼科杂志,2019,55(10): 757-762. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2019.10.006.
- [6] Mao JB, Lao JM, Yu XT, et al. Correlation of capillary plexus with

- visual acuity in idiopathic macular epiretinal membrane eyes using optical coherence tomography angiography [J]. Chin J Ophthalmol, 2019, 55(10): 757-762. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2019.10.006.
- [6] Govetto A, Lalane RA, Sarraf D, et al. Insights into epiretinal membranes: presence of ectopic inner foveal layers and a new optical coherence tomography staging scheme [J]. Am J Ophthalmol, 2017, 175: 99-113. DOI: 10.1016/j.ajo.2016.12.006.
- [7] Bennett AG, Rudnicka AR, Edgar DF. Improvements on Littmann's method of determining the size of retinal features by fundus photography [J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 1994, 232(6): 361-367. DOI: 10.1007/BF00175988.
- [8] 米兰, 黄时洲, 肖辉, 等. 特发性视网膜前膜患者黄斑区视网膜厚度及显微结构改变与视力的关系 [J]. 中华实验眼科杂志, 2013, 31(5): 461-464. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2013.05.011.
- Mi L, Huang SZ, Xiao H, et al. Relationship of the change of macular thickness and microstructure with visual acuity in eye with idiopathic epiretinal membrane [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2013, 31(5): 461-464. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2013.05.011.
- [9] 徐钊楷, 毛剑波, 沈丽君. 光学相干断层扫描血管成像在特发性黄斑前膜中的应用研究进展 [J]. 中华实验眼科杂志, 2024, 42(5): 483-486. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200713-00493.
- Xu ZK, Mao JB, Shen LJ. Advances of optical coherence tomography angiography in idiopathic macular epiretinal membrane [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2024, 42(5): 483-486. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200713-00493.
- [10] Su T, Lai C, Du Z, et al. Retinal photoreceptors and arterioles alterations detected using adaptive optics scanning laser ophthalmoscopy in diabetes and diabetic retinopathy [J]. Retina, 2026, 46(1): 163-170. DOI: 10.1097/IAE.0000000000004647.
- [11] Ishikura M, Muraoka Y, Nishigori N, et al. Cellular determinants of visual outcomes in eyes with epiretinal membrane: insights from adaptive optics OCT [J]. Ophthalmol Sci, 2024, 4(5): 100536. DOI: 10.1016/j.xops.2024.100536.
- [12] 赵玥, 杨婷婷, 姚进. 采用自适应光学扫描激光检眼镜系统观察健康成年人黄斑区视锥细胞的分布 [J]. 国际眼科杂志, 2024, 24(3): 473-478. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2024.3.27.
- Zhao Y, Yang TT, Yao J. Observation on the distribution of macular cone in healthy adult using adaptive optics scanning laser ophthalmoscope system [J]. Int Eye Sci, 2024, 24(3): 473-478. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2024.3.27.
- [13] Wynne N, Carroll J, Duncan JL. Promises and pitfalls of evaluating photoreceptor-based retinal disease with adaptive optics scanning light ophthalmoscopy (AOSLO) [J]. Prog Retin Eye Res, 2021, 83: 100920. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2020.100920.
- [14] Chen H, Chi W, Cai X, et al. Macular microvasculature features before and after vitrectomy in idiopathic macular epiretinal membrane: an OCT angiography analysis [J]. Eye (Lond), 2019, 33(4): 619-628. DOI: 10.1038/s41433-018-0272-3.
- [15] Mavi Yildiz A, Avci R, Yilmaz S. The predictive value of ectopic inner retinal layer staging scheme for idiopathic epiretinal membrane: surgical results at 12 months [J]. Eye (Lond), 2021, 35(8): 2164-2172. DOI: 10.1038/s41433-021-01429-w.
- [16] Akondi V, Ayubi GA, Huang X, et al. Telecentric model eye for correction of image distortion in adaptive optics ophthalmoscopes [J]. Biomed Opt Express, 2025, 16(7): 2767-2791. DOI: 10.1364/BOE.565589.

(收稿日期:2025-11-24 修回日期:2026-06-16)

(本文编辑:施晓萌 骆世平)

读者·作者·编者

眼科常用英文缩略语名词解释

AMD:年龄相关性黄斑变性(age-related macular degeneration)

ANOVA:方差分析(analysis of variance)

BUT:泪膜破裂时间(breakup time of tear film)

DR:糖尿病视网膜病变(diabetic retinopathy)

EAU:实验性自身免疫性葡萄膜炎(experimental autoimmune uveitis)

EGF:表皮生长因子(epidermal growth factor)

ELISA:酶联免疫吸附测定(enzyme-linked immunosorbent assay)

ERG:视网膜电图(electroretinogram)

FFA:荧光素眼底血管造影(fundus fluorescein angiography)

FGF:成纤维细胞生长因子(fibroblast growth factor)

GFP:绿色荧光蛋白(green fluorescent protein)

IFN- γ : γ 干扰素(interferon- γ)

IL:白细胞介素(interleukin)

IOL:人工晶状体(intraocular lens)

IRBP:光间受体视黄类物质结合蛋白(interphotoreceptor retinoid binding protein)

LASIK:准分子激光角膜原位磨镶术(laser in situ keratomileusis)

ICGA:吲哚菁绿血管造影(indocyanine green angiography)

LECs:晶状体上皮细胞(lens epithelial cells)

miRNA:微小RNA(microRNA)

MMP:基质金属蛋白酶(matrix metalloproteinase)

mTOR:哺乳动物类雷帕霉素靶蛋白(mammalian target of rapamycin)

MTT:四甲基偶氮唑盐(methyl thiazolyl tetrazolium)

NF:核转录因子(nuclear factor)

OCT:光学相干断层扫描(optical coherence tomography)

OR:优势比(odds ratio)

PACG:原发性闭角型青光眼(primary angle-closure glaucoma)

PCR:聚合酶链式反应(polymerase chain reaction)

RGCs:视网膜节细胞(retinal ganglion cells)

POAG:原发性开角型青光眼(primary open angle glaucoma)

RB:视网膜母细胞瘤(retinoblastoma)

RPE:视网膜色素上皮(retinal pigment epithelium)

RNV:视网膜新生血管(retinal neovascularization)

RP:视网膜色素变性(retinitis pigmentosa)

S I t:基础泪液分泌试验(Schirmer I test)

shRNA:短发夹RNA(short hairpin RNA)

siRNA:小干扰RNA(small interfering RNA)

α -SMA: α -平滑肌肌动蛋白(α -smooth muscle actin)

TAO:甲状腺相关眼病(thyroid-associated ophthalmopathy)

TGF:转化生长因子(transforming growth factor)

TNF:肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor)

UBM:超声生物显微镜(ultrasound biomicroscope)

VEGF:血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor)

VEP:视觉诱发电位(visual evoked potential)

(本刊编辑部)

