

特发性黄斑前膜患者视功能与血管结构特点及其相关性分析

宋泽江,徐海月,王禹,邹博,丁晓霞

引用:宋泽江,徐海月,王禹,等.特发性黄斑前膜患者视功能与血管结构特点及其相关性分析.国际眼科杂志,2025,25(12):1926-1931.

基金项目:抚顺市英才计划 (No. FSYC202107001)

作者单位:(113008)中国辽宁省抚顺市眼病医院

作者简介:宋泽江,在读硕士研究生,研究方向:眼底病。

通讯作者:丁晓霞,博士,主任医师,硕士研究生导师,研究方向:

白内障、眼底病. 791151967@qq.com

收稿日期:2025-06-19 修回日期:2025-10-21

摘要

目的:观察特发性黄斑前膜(IERM)患者最佳矫正视力(BCVA)、微视野(MP)、多焦视网膜电图(mfERG)及光学相干断层扫描血管成像(OCTA)各参数特点,并进行各项参数之间的对比研究及相关性分析。

方法:横断面研究。收集2021年2月至2024年11月在本院就诊的IERM患者56例56眼为IERM组,健康体检者33例33眼为对照组。比较IERM组与对照组之间以及不同分期IERM组间各项参数,同时分析视功能参数之间的相关性,及这些视功能参数与血管结构OCTA参数之间的相关性。

结果:对照组与IERM组患者一般资料具有可比性。IERM组患眼BCVA、视网膜敏感性(RS)、1环中P1波振幅、旁中心凹浅层毛细血管密度(SCPpfvd)、旁中心凹深层毛细血管密度(DCPpfvd)和中心凹内无血管区(FAZ)面积相比较对照组明显下降(均P<0.01),中心凹视网膜厚度(CRT)、中心凹浅层毛细血管密度(SCPfvd)和中心凹深层毛细血管密度(DCPfvd)明显升高(均P<0.001)。IERM不同分期组间相比,BCVA、CRT、RS、SCPfvd和FAZ有差异(均P<0.01)。在IERM患眼中,BCVA(LogMAR)与RS呈负相关;1环中P1波振幅与1环中P1波潜时呈正相关;SCPfvd与BCVA(LogMAR)呈正相关,与RS呈负相关;DCPfvd与1环中P1波潜时呈负相关;DCPpfvd与RS呈正相关(均P<0.05)。

结论:IERM患眼存在视功能参数与血管结构异常,且不同分期患眼BCVA、CRT、RS、SCPfvd与FAZ变化程度不同。综合评估BCVA、MP、mfERG及OCTA有助于深入认识IERM本质,制定合理的诊疗方案。

关键词:特发性黄斑前膜;最佳矫正视力;微视野计;多焦视网膜电图;光学相干断层扫描血管成像

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.12.05

Analysis of visual function and vascular structural characteristics and their correlation in patients with idiopathic epiretinal membrane

Song Zejiang, Xu Haiyue, Wang Yu, Zou Bo, Ding Xiaoxia

Foundation item: Fushun Talent Program (No. FSYC202107001)
Fushun Ophthalmology Hospital, Fushun 113008, Liaoning Province, China

Correspondence to: Ding Xiaoxia. Fushun Ophthalmology Hospital, Fushun 113008, Liaoning Province, China. 791151967@qq.com
Received: 2025-06-19 Accepted: 2025-10-21

Abstract

• AIM: To observe the characteristics of best corrected visual acuity (BCVA), microperimetry (MP), multifocal electroretinogram (mfERG), and optical coherence tomography angiography (OCTA) parameters in patients with idiopathic epiretinal membrane (IERM), and conduct a comparative study and correlation analysis on these parameters.

• METHODS: This was a cross-sectional study. A total of 56 patients (56 eyes) diagnosed with IERM who visited our hospital between February 2021 and November 2024 were collected as IERM group, and 33 healthy individuals (33 eyes) undergoing physical examinations were included as control group. Parameters were compared between the IERM group and the control group, as well as among IERM subgroups at different stages. Additionally, correlations among visual function parameters and between these visual function parameters and vascular structural OCTA parameters were analyzed.

• RESULTS: The general data of patients in the control group and IERM group were comparable. In the IERM group, BCVA, retinal sensitivity (RS), P1 wave amplitude in ring 1, superficial capillary plexus parafoveal vessel density (SCPpfvd), deep capillary plexus parafoveal vessel density (DCPpfvd), and the foveal avascular zone (FAZ) area were significantly lower than the control group (all P<0.01). In contrast, central retinal thickness (CRT), superficial capillary plexus foveal vessel density (SCPfvd), and deep capillary plexus foveal vessel density (DCPfvd) were significantly increased (all P<0.001). When comparing different stages of IERM, significant differences were observed in BCVA, CRT, RS, SCPfvd, and DCPfvd.

and FAZ (all $P < 0.01$). In eyes affected by IERM, BCVA (LogMAR) was negatively correlated with RS; P1 wave amplitude in ring 1 positively correlated with P1 wave implicit time in ring 1; SCPfvd positively correlated with BCVA (LogMAR) and negatively correlated with RS; DCPfvd negatively correlated with P1 wave implicit time in ring 1; and DCPfvd positively correlated with RS (all $P < 0.05$).

• CONCLUSION: Eyes with IERM exhibit abnormalities in visual function parameters and vascular structure, with varying degrees of alteration in BCVA, CRT, RS, SCPfvd, and FAZ across different stages. Comprehensive evaluation of BCVA, MP, mfERG, and OCTA contributes to a deeper understanding of the nature of IERM and aids in formulating appropriate diagnosis and treatment plans.

• KEYWORDS: idiopathic epiretinal membranes; best corrected visual acuity; microperimetry; multifocal electroretinogram; optical coherence tomography angiography

Citation: Song ZJ, Xu HY, Wang Y, et al. Analysis of visual function and vascular structural characteristics and their correlation in patients with idiopathic epiretinal membrane. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2025, 25(12):1926–1931.

0 引言

特发性黄斑前膜 (idiopathic epiretinal membranes, IERM) 是临幊上较常见的黄斑部病变。多发生在 50 岁以上人群,且患病率随着年龄的增长显著增加^[1-2]。不同种族及地域 IERM 发病率不同,与白人、黑人和西班牙裔相比,中国人更容易患 IERM^[3-4]。光学相干断层扫描 (optical coherence tomography, OCT)、眼底照相、最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA) 和患者的主诉常被用于 IERM 诊断以及对其形态和功能的评估,但这些参数并不能反映 IERM 所有结构和功能特点。

微视野计 (microperimetry, MP) 可以通过测量视网膜敏感性 (retinal sensitivity, RS) 和固视稳定性 (fixation stability, FS) 等指标将视网膜视功能量化,来客观评价黄斑区功能。多焦视网膜电图 (multifocal electroretinogram, mfERG) 通过测量 N1 和 P1 波振幅和潜时的变化反映黄斑中心 25° 范围视网膜的功能^[5]。光学相干断层扫描血管成像 (optical coherence tomography angiography, OCTA) 可以清晰显示视网膜浅层及深层血管形态,并计算视网膜血流密度以及黄斑中心凹内无血管区 (foveal avascular zone, FAZ) 面积^[6-7]。MP、mfERG 及 OCTA 均应用于 IERM 结构或功能的研究^[8-10]。

同时研究疾病的结构和功能指标,可以帮助临幊更好地理解疾病的特点及预后,目前对黄斑前膜结构与功能的研究中使用黄斑完整性评估 (macular integrity assessment, MAIA) 微视野计评估黄斑前膜视网膜敏感度的研究较少,且对黄斑前膜的视觉电生理相关研究较少,本研究中用 MAIA 评估视网膜敏感度,同时使用 mfERG 评估前膜患者的视功能,观察 IERM 患者功能和结构的变化,并探索功能与结构之间的关系。

1 对象和方法

1.1 对象 横断面研究。收集 2021 年 2 月至 2024 年 11

月于抚顺市眼病医院就诊的 IERM 患者 56 例 56 眼,及健康体检者 33 例 33 眼。IERM 组纳入标准:(1)年龄≥18 岁;(2)出现视力下降或视物变形;(3)散瞳检查见黄斑区金箔样反光,OCT 检查见黄斑区视网膜前条状强反射信号,临床诊断为 IERM,且接受 25 号微创经睫状体平坦部玻璃体切割术(25-gauge pars plana vitrectomy, 25G PPV)联合黄斑内界膜(inner limiting membrane, ILM)剥除手术治疗的患者;(4)双眼确诊 IERM 的患者选取右眼。IERM 组排除标准:(1)既往玻璃体视网膜手术和眼部疾病史(白内障 LOCSIII 分期^[11] C₂N₂P₂ 以下除外);(2)由视网膜血管疾病、葡萄膜炎、外伤、视网膜裂孔和眼轴(axial length, AL)≥26 mm 或等效球镜度(spherical equivalent, SE)≤-6.0 D 所引起的继发性黄斑前膜。对照组纳入标准:(1)无全身疾病的正常人;(2)BCVA 达到 1.0 的健眼,如双眼符合标准情况则选择右眼。本研究符合《赫尔辛基宣言》原则,并由抚顺市眼病医院医学伦理委员会批准(伦理批号:IEC2022-01),所有参与者均签署知情同意书。

1.2 方法 所有纳入研究的患者接受全面的眼科检查,包括 BCVA、眼压、裂隙灯显微镜、检眼镜检查、眼底、眼底照相、OCT、MP、mfERG、OCTA。所有检查均由经专业培训的眼科医师和技师完成。BCVA 采用国际标准视力表进行检查,其结果转换为最小分辨角视力(LogMAR)后进行记录分析,BCVA (LogMAR) 下降表示 BCVA 升高。OCT (SPECTRALIS[®]) 仪器测量中心凹视网膜厚度 (central retinal thickness, CRT),并采用 Govetto 等^[12] 报道的分期方法将 IERM 分为 1-4 期 (IERM 分期同时由 2 名高资历眼底病医师独立确定,若出现不一致由另 1 名资深眼底病专家确定)。MP(MAIA) 是一种非侵入性检查,将刺激网格的微成像投影到黄斑上,由眼动仪控制,并将视网膜敏感特性和固视特性与眼睛的黄斑解剖表面相关联^[13]。本研究选用 4-2 国值模式,在暗室中检测,无需散瞳。设备自动计算 RS 和 FS。RS 为黄斑区 10° 范围内的平均视敏度^[14-15]。MP 通过两个百分比 P1 和 P2 定义固视状态,P1 和 P2 代表中央凹为中心的直径 2° 和 4° 内的范围内的固视点数量百分比^[16],根据 P1 和 P2 值将 FS 分为三类,稳定固视、相对不稳定固视和不稳定固视^[17]。mfERG (RETIscan) 的记录程序与国际视觉临床电生理学会^[18] 描述相同。本研究选择 61 个六边形为刺激单元,结果经系统自带的软件分析以黄斑中心凹为中心自内向外 5 个同心环的反应波,每个环分别对应视网膜 5° 区域^[5],即对应以黄斑中心凹为中心,半径 12.5° 的后极部视网膜范围。测量 mfERG 基本波形的第一个负波为 N1,第一个正波为 P1 波。P1 波的振幅记录从基线至波峰的值,P1 波的潜伏期记录从刺激开始至 P1 波的波峰时间^[19]。1 环中的 P1 波振幅和 P1 波潜时纳入本研究。OCTA (RTVueXR) 仪器测量黄斑微血管结构,扫描黄斑区 6 mm×6 mm 范围,每张图像由 304 个垂直和 304 个水平 A 扫描交集创建^[20]。将视网膜分成浅层毛细血管层和深层毛细血管层^[21],中心凹区域是以黄斑中心凹为中心,直径 1 mm 的圆,旁中心凹区域是一个内径为 1 mm、外径为 3 mm 的环^[22],使用机器软件提供的集成自动化算法分别测量中心凹和旁中心凹的浅层和深层毛细血管密度 [中心凹浅层毛细血管密度 (superficial capillary plexus foveal vessel density, SCPfvd)、旁中心凹浅层毛细血管密度 (superficial capillary plexus parafoveal vessel density, SCPpfvd)、中心凹深层毛

细血管密度 (deep capillary plexus foveal vessel density, DCPfvd)、旁中心凹深层毛细血管密度 (deep capillary plexus parafoveal vessel density, DCPpfvd)], 同时测量中心凹无血管区 (foveal avascular zone, FAZ) 的范围^[23], 它是 OCTA 扫描上可见的视网膜内层最薄处没有血管和血流, 靠近血管的区域^[24]。

统计学分析: 采用 SPSS 25.0 统计软件进行数据分析。计量资料通过 Kolmogorov-Smirnov 检验的正态性检验。计量资料表示为平均值±标准差, 计数资料表示为频数(百分比)。对照组和 IERM 组比较应用独立样本 *t* 检验、 χ^2 检验和 Fisher 确切概率法。IERM 不同分期之间使用单因素方差分析和 Fisher 确切概率法, 组间两两比较采用 Bonferroni 校正 ($P<0.017$)。相关分析采用 Pearson 相关分析及 Spearman 相关分析。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 参与者临床特征 对照组与 IERM 组患者一般资料比较差异具有可比性 (均 $P>0.05$), 见表 1。IERM 组可分为 2 期 16 眼 (29%)、3 期 27 眼 (48%)、4 期 13 眼 (23%), 平均病程 14.35 ± 9.65 mo; 存在视物变形 42 眼 (75%), 人工晶状体眼 1 眼 (2%), 对照组均无视物变形与人工晶状体眼。

2.2 对照组和 IERM 组功能及结构参数对比 对照组和 IERM 组 BCVA、CRT、RS、1 环中 P1 波振幅、SCPfvd、SCPpfvd、DCPfvd、DCPpfvd 和 FAZ 比较差异有统计学意义 (均 $P<0.01$)。与对照组相比, IERM 组患眼 BCVA、RS、1 环中 P1 波振幅、SCPfvd、DCPfvd 和 FAZ 明显下降 (均 $P<0.01$), CRT、SCPfvd 和 DCPfvd 明显升高 (均 $P<0.001$)。对照组 FS 稳定 21 眼 (64%), 相对不稳定 10 眼 (30%), 不稳定 2 眼 (6%); IERM 组 FS 稳定 29 眼 (52%), 相对不稳

定 19 眼 (34%), 不稳定 8 眼 (14%), 两组间 FS 及 1 环中 P1 波潜时差异无统计学意义 (均 $P>0.05$), 见表 2。

2.3 不同分期 IERM 组各功能及结构参数对比 IERM 不同分期组间 BCVA、CRT、RS、SCPfvd 和 FAZ 比较, 差异有统计学意义 (均 $P<0.01$)。分期越重, 视力越差, CRT 越厚; 4 期与 2 期、3 期相比 RS 下降, 3 期、4 期与 2 期相比 SCPfvd 增大, 4 期与 2 期相比 FAZ 减小 (均 $P<0.017$)。2 期病例中 FS 稳定 9 眼 (56%), 相对不稳定 6 眼 (38%), 不稳定 1 眼 (6%); 3 期病例中 FS 稳定 14 眼 (52%), 相对不稳定 9 眼 (33%), 不稳定 4 眼 (15%); 4 期病例中 FS 稳定 6 眼 (46%), 相对不稳定 4 眼 (31%), 不稳定 3 眼 (23%), 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。各期 IERM 的 1 环中 P1 波振幅、1 环中 P1 波潜时、SCPfvd、DCPfvd 和 DCPpfvd 在不同分期组间差异无统计学意义 (均 $P>0.05$), 见表 3。

2.4 各视功能指标间相关性分析 在 IERM 患眼中, BCVA (LogMAR) 与 RS 呈负相关 ($r=-0.555$, $P<0.001$); 1 环中 P1 波振幅与 1 环中 P1 波潜时呈正相关 ($r=0.519$, $P=0.001$)。BCVA (logMAR) 与 FS、1 环中 P1 波振幅及 1 环中 P1 波潜时无相关性 ($r_s=0.097$, $r=0.072$ 、 -0.189 , 均 $P>0.05$); RS 与 FS、1 环中 P1 波振幅及 1 环中 P1 波潜时无相关性 ($r_s=-0.222$, $r=0.060$ 、 0.064 , 均 $P>0.05$); FS 与 1 环中 P1 波振幅及 1 环中 P1 波潜时无相关性 ($r_s=0.237$ 、 0.159 , 均 $P>0.05$)。

2.5 视功能指标与黄斑微血管结构间相关性分析 在 IERM 患眼中, SCPfvd 与 BCVA (LogMAR) 呈正相关 ($P<0.01$), 与 RS 呈负相关 ($P<0.01$); DCPfvd 与 1 环中 P1 波潜时呈负相关 ($P<0.05$); DCPpfvd 与 RS 呈正相关 ($P<0.05$), 其余对比结果无相关性 (均 $P>0.05$), 见表 4。

表 1 对照组和 IERM 组研究对象临床特征

分组	例数 (眼数)	性别(例, %)		年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	眼别(眼, %)		AL ($\bar{x}\pm s$, mm)	眼压 ($\bar{x}\pm s$, mmHg)
		男	女		右眼	左眼		
对照组	33 (33)	5 (15)	28 (85)	63.75 ± 7.35	21 (64)	12 (36)	23.03 ± 1.43	16.21 ± 2.10
IERM 组	56 (56)	14 (25)	42 (75)	67.08 ± 6.83	25 (45)	31 (55)	23.28 ± 0.71	15.64 ± 3.38
χ^2/t		1.199		1.915	3.000		0.017	-0.404
<i>P</i>		0.273		0.055	0.083		0.964	0.864

注: 对照组为健康体检者。

表 2 对照组和 IERM 组各功能及结构参数对比

指标	对照组 ($n=33$)	IERM 组 ($n=56$)	<i>t</i> /Fisher	<i>P</i>
BCVA ($\bar{x}\pm s$, LogMAR)	0.00 ± 0.00	0.53 ± 0.29	10.247	<0.001
CRT ($\bar{x}\pm s$, μm)	217.30 ± 21.99	500.93 ± 120.39	13.372	<0.001
RS ($\bar{x}\pm s$, dB)	25.73 ± 1.41	21.17 ± 3.13	-7.883	<0.001
FS (眼, %)				0.396
稳定固视	21 (64)	29 (52)		
相对不稳定固视	10 (30)	19 (34)		
不稳定固视	2 (6)	8 (14)		
1 环中 P1 波振幅 ($\bar{x}\pm s$, μV)	1.13 ± 0.49	0.80 ± 0.43	-3.270	0.002
1 环中 P1 波潜时 ($\bar{x}\pm s$, ms)	45.81 ± 8.77	43.20 ± 9.84	-1.228	0.212
SCPfvd ($\bar{x}\pm s$, %)	17.52 ± 7.28	39.17 ± 8.91	11.810	<0.001
SCPpfvd ($\bar{x}\pm s$, %)	50.92 ± 4.24	47.08 ± 6.01	-3.245	0.002
DCPfvd ($\bar{x}\pm s$, %)	31.83 ± 7.04	39.82 ± 8.99	4.369	<0.001
DCPpfvd ($\bar{x}\pm s$, %)	52.51 ± 4.59	45.23 ± 7.86	-4.844	<0.001
FAZ ($\bar{x}\pm s$, mm^2)	0.32 ± 0.10	0.12 ± 0.08	-9.725	<0.001

注: 对照组为健康体检者。

表3 不同分期 IERM 组各功能及结构参数对比

指标	2期(n=16)	3期(n=27)	4期(n=13)	F/Fisher	P
BCVA($\bar{x} \pm s$, LogMAR)	0.34±0.16	0.51±0.21 ^a	0.82±0.37 ^{a,b}	14.495	<0.001
CRT($\bar{x} \pm s$, μm)	307.50±92.66	508.33±70.23 ^a	637.46±66.23 ^{a,b}	41.721	<0.001
RS($\bar{x} \pm s$, dB)	22.25±2.06	21.72±2.85	18.70±3.66 ^{a,b}	6.428	0.003
FS(眼, %)					0.892
稳定固视	9(56)	14(52)	6(46)		
相对不稳定固视	6(38)	9(33)	4(31)		
不稳定固视	1(6)	4(15)	3(23)		
1环中P1波振幅($\bar{x} \pm s$, μV)	0.98±0.55	0.71±0.40	0.78±0.29	2.099	0.144
1环中P1波潜时($\bar{x} \pm s$, ms)	45.63±7.96	42.55±11.15	41.79±9.36	0.666	0.518
SCPfvd($\bar{x} \pm s$, %)	33.67±8.38	39.96±11.31 ^a	42.05±6.39 ^a	5.196	0.009
SCPPfvd($\bar{x} \pm s$, %)	45.91±5.69	46.53±4.39	48.04±6.85	0.696	0.503
DCPfvd($\bar{x} \pm s$, %)	39.40±6.04	39.69±8.68	40.60±12.68	0.066	0.936
DCPPfvd($\bar{x} \pm s$, %)	46.73±8.67	44.45±7.47	42.93±7.97	0.852	0.432
FAZ($\bar{x} \pm s$, mm ²)	0.18±0.09	0.13±0.10	0.09±0.06 ^a	6.091	0.004

注: ^aP<0.017 vs 2期; ^bP<0.017 vs 3期。

表4 视功能指标与黄斑微血管结构间相关性分析

指标	BCVA(logMAR)		RS		FS		1环中P1波振幅		1环中P1波潜时	
	r	P	r	P	r_s	P	r	P	r	P
SCPfvd	0.510	0.005	-0.480	0.008	0.137	0.478	-0.111	0.415	-0.176	0.195
SCPPfvd	-0.041	0.833	-0.112	0.562	-0.143	0.461	0.108	0.429	0.169	0.214
DCPfvd	0.193	0.317	0.014	0.943	0.148	0.445	0.070	0.608	-0.304	0.023
DCPPfvd	-0.156	0.418	0.414	0.026	-0.052	0.789	0.098	0.474	-0.096	0.483
FAZ	-0.231	0.227	0.308	0.104	-0.199	0.301	0.149	0.275	0.173	0.203

3 讨论

IERM 是一种以 ILM 表面成纤维细胞增殖为特征的玻璃体黄斑病变^[25]。其对视网膜及其血管的牵引可以使视网膜组织结构发生改变,包括黄斑内层的异位、视网膜内层结构的改变、椭圆体带和嵌合体带的破坏、FAZ 的缩小、眼底血流密度的变化^[26-30],从而引起视力下降、视物变形及其他一些视觉不适的症状。研究表明 IERM 会引起 CRT 增厚,BCVA 下降^[12],本研究得出同样的结果,随着分期的加重,BCVA 逐渐下降,CRT 逐渐增厚。但仅通过 OCT、BCVA 并不能对黄斑区视网膜结构功能进行全面的评估,本研究在此基础上引入 MP、mfERG 和 OCTA 对 IERM 引起的视网膜的结构和功能变化进行综合性评价。

MP 通过测量 RS 和 FS 来评估 IERM 的黄斑功能^[31]。本研究中 IERM 组与对照组相比,RS 明显下降,与 Xu 等^[32]研究一致。2期和3期 IERM 眼 RS 之间差异无统计学意义,4期 IERM 眼与 2期、3期 IERM 眼相比 RS 明显下降,根据 Govetto 等^[12]分级标准,4期 IERM 眼与 2期、3期 IERM 眼相比有显著黄斑解剖结构破坏,表明黄斑结构破坏严重时,会明显影响 RS。本研究在 IERM 组与对照组比较及 IERM 组不同分级组中均未发现 FS 显著性变化,表明 IERM 对视网膜的牵拉并未引起 FS 改变,可能的原因是本研究纳入的病例多为 2、3 期病例,引起的视力下降不足以引起 FS 的改变,Xu 等^[32]的研究中使用 FS 2°和 FS 4°评估 IERM 对固视的影响,得出与本研究相似的结果。

mfERG 可以客观地检测黄斑区局部视网膜功能障碍^[18]。雷敏等^[33]研究表明 IERM 会引起视网膜神经纤维层-内丛状层(ganglion cell-inner plexiform layer, GC-IPL)突触连接变形或断开以及伴随的内核层(inner nuclear

layer, INL)细胞的损伤,GC-IPL 由神经节细胞、双极细胞和无长突细胞形成的突触组成,INL 主要由双极细胞和无长突细胞组成^[34],Hood 等^[35]研究表明双极细胞的损伤将 mfERG 的 P1 波振幅大幅度降低,对 P1 波潜时影响较少甚至使潜时缩短。本研究中 IERM 组较对照组 1 环中 P1 波振幅明显下降,差异有统计学意义,1 环中 P1 波潜时略微缩短,但差异无统计学意义,证实了 IERM 对视网膜的牵拉会引起双极细胞的功能损伤。黄时洲等^[36]的研究中 IERM 引起 1 环中 P1 波振幅明显下降,差异有统计学意义,1 环中 P1 波潜时略微延长,差异无统计学意义,此结果可能由于该研究中 IERM 组纳入病例数较少引起的偏差。所以, mfERG 中 1 环 P1 波振幅能够敏感客观地反映 IERM 引起的视功能变化,可用于疾病的筛查。IERM 的 Govetto 分期更关注视网膜内层结构的变化^[12],但本研究未发现不同分期组之间 mfERG 的 1 环中 P1 波的振幅或潜时差异有统计学意义,与 RS 不同,牵拉的加重并未引起 1 环中 P1 波振幅及潜时的变化, mfERG 中 1 环 P1 波振幅反映后极 5°范围内的双极细胞功能,虽然 IERM 组较对照组 1 环中 P1 波振幅明显下降,不同分期组间的 1 环中 P1 波振幅差异无统计学意义,这说明前膜的加重并未对后极 5°范围内视网膜双极细胞功能造成进一步影响,前膜的加重引起的视力下降可能是因为对表浅的神经纤维层牵拉加重引起。

本研究中 IERM 组与对照组相比,IERM 患眼的 SCPfvd、DCPfvd 明显增大,SCPPfvd、DCPPfvd 和 FAZ 明显下降,与既往研究结果一致^[37-38],引起这一结果的主要原因是 IERM 的牵拉引起视网膜及其血管的向心性移位^[39],此外,SCPPfvd 和 DCPfvd 明显下降的另一种原因

可能是前膜引起视网膜机械性压力导致进行性毛细血管微梗死^[40]。不同分期组之间 SCPfvd、DCPfvd 和 DCPfvd 差异无统计学意义,3 期、4 期与 2 期相比 SCPfvd 变大,4 期与 2 期相比 FAZ 减小,说明随着 IERM 的加重,前膜对中心凹处视网膜浅层组织向心性牵拉力量更明显。

BCVA 反映黄斑中心凹的视敏度,是评价视功能的主观指标,MP 测量的 RS 反映后极部 10° 范围视网膜的平均视敏度,可以客观地评价视功能,本研究发现 IERM 患眼中 RS 与 BCVA(LogMAR) 呈负相关,视敏度与最佳矫正视力有明显的相关性,这与 Feng 等^[41]研究结果一致,RS 可有效弥补 BCVA 依赖患者主观配合的缺陷,尤其适用于有认知障碍或无法准确表达视力的特殊人群。本研究发现 1 环中 P1 波振幅和潜时呈正相关,其原因可能是两者均反映双极细胞的功能。同时,未发现 1 环 P1 波振幅、潜时与 BCVA 之间存在相关性,Kim 等^[42]结果也显示 1 环中 P1 波振幅与 BCVA 无相关性,分析原因为 BCVA 反映中心凹视锥细胞敏感度,1 环的 P1 波振幅反映后极部 5° 范围内的双极细胞功能^[5,43]。同时评估 mfERG 中 1 环 P1 波振幅可更全面客观地反映 IERM 的视功能。本研究未发现其他视功能指标间的相关性。本研究结果进一步凸显了多模态评估的临床必要性,联合 BCVA、MP、mfERG 可为 IERM 临床提供更全面的功能评估信息。

本研究进一步探寻 IERM 引起的视网膜血流结构和功能的关系,研究表明前膜对视网膜的牵拉主要位于视网膜浅层毛细血管^[44],浅层毛细血管密度变化反映视网膜内层的结构扭曲程度,研究中发现 IERM 患眼 SCPfvd 越大,BCVA 及 RS 越差,浅层毛细血管主要位于神经节细胞层,我们认为 SCPfvd 对 BCVA 及 RS 的影响主要是因为前膜对视网膜神经节细胞层的牵拉损伤引起。Feng 等^[41]对 IERM 的研究中得出类似的结果,认为 SCPfvd、SCPfvd 与中心凹视网膜敏感度相关,但是该研究中未发现浅层血管密度与 BCVA 的相关性。本研究还发现 DCPfvd 降低时,RS 也发生下降,深层毛细血管丛位于 INL 内边界和外边界^[45],分布于 INL 各种神经细胞中,主要包括双极细胞和无长突细胞^[34],深层毛细血管丛血流下降会引起双极细胞功能下降,而影响后极部的视网膜敏感度。本研究中 IERM 组 DCPfvd 较对照组明显增加,考虑这种变化是由 IERM 的牵拉引起视网膜及血管向心性移位引起的。随着 IERM 患眼加重,DCPfvd 增加,1 环中 P1 波潜时略微缩短,但差异无统计学意义,此外,在相关性的研究中虽然发现 DCPfvd 与 1 环中 P1 波潜时呈负相关,但相关性较弱,对临床指导意义有限。有研究得出 IERM 视网膜各层、脉络膜层血流密度及 FAZ 的面积与周长均与视力下降相关^[46],与本研究结果的差异可能是研究入选的病例数、疾病分期不同,以及研究使用的 OCTA 设备不同引起。

综上所述,IERM 患眼存在不同程度的视功能下降及结构异常,黄斑前膜会引起 BCVA、RS 及 1 环中 P1 波振幅的降低,由于前膜的牵拉引起 SCPfvd、DCPfvd 增加,SCPfvd、DCPfvd 和 FAZ 下降;在 IERM 中应用 BCVA、MP、mfERG 及 OCTA 等多模式影像可从“功能量化-功能定位-电生理机制-血流重构”四个维度揭示 IERM 疾病特点,为 IERM 的精准诊断提供立体化证据。然而,研究仍存在一些局限性:(1)本研究纳入的 IERM 患者均为 2 期以上病例,总体病例数尤其 4 期病例数较少,这将造成统计效力不足,可能引起研究结果选择性偏倚;(2)研究

属于横断面研究,无法进行因果关系判断;(3)研究虽然观察到 IERM 对 mfERG 的影响,但仍未探究到 1 环中 P1 波振幅的生物标志物,在后续的研究中,我们将扩大研究病例数,并且探索与视功能相关的更有标志性意义的影像学特征。此外,后续将进一步研究 IERM 基线指标对术后效果的预测,为临床治疗进一步提供证据支持。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:宋泽江论文修改,初稿撰写;徐海月文献检索,数据分析;王禹、邹博数据收集;丁晓霞选题指导,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] Duan XR, Liang YB, Friedman DS, et al. Prevalence and associations of epiretinal membranes in a rural Chinese adult population: the Handan eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2009, 50 (5): 2018-2023.
- [2] Zhu XB, Yang MC, Wang YX, et al. Prevalence and risk factors of epiretinal membranes in a Chinese population: the Kailuan eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(11):37.
- [3] Cheung N, Tan SP, Lee SY, et al. Prevalence and risk factors for epiretinal membrane: the Singapore Epidemiology of Eye Disease study. *Br J Ophthalmol*, 2017, 101(3):371-376.
- [4] Ng CH, Cheung N, Wang JJ, et al. Prevalence and risk factors for epiretinal membranes in a multi-ethnic United States population. *Ophthalmology*, 2011, 118(4):694-699.
- [5] Faria MY, Sousa DC, Mano S, et al. Multifocal electroretinography in assessment of macular function after internal limiting membrane peeling in macular hole surgery. *J Ophthalmol*, 2019, 2019:1939523.
- [6] Spaide RF, Fujimoto JG, Waheed NK, et al. Optical coherence tomography angiography. *Prog Retin Eye Res*, 2018, 64:1-55.
- [7] 李娜, 廖洪霞, 秦波. OCT 和 OCTA 在特发性黄斑前膜术后视力预测中的研究进展. 国际眼科杂志, 2024, 24(5):737-742.
- [8] Cunha LP, Matos AMF, Defina RLS, et al. Assessment of ganglion cell complex thickness and its correlation with retinal sensitivity using microperimetry 6 months after epiretinal membrane surgery. *Int J Retina Vitreous*, 2024, 10(1):58.
- [9] Gesualdo C, Rossi S, Iodice CM, et al. Multimodal assessment of the prognostic role of ectopic inner foveal layers on epiretinal membrane surgery. *J Clin Med*, 2023, 12(13):4449.
- [10] 罗嘉婧, 段虎成, 陈瑞, 等. 特发性黄斑前膜患者的光学相干断层扫描血流成像和微视野检查指标与视力的相关性. 眼科新进展, 2021, 41(12):1169-1174.
- [11] Chylack LT. The lens opacities classification system III. *Arch Ophthalmol*, 1993, 111(6):831.
- [12] 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. *Am J Ophthalmol*, 2017, 175: 99-113.
- [13] Kodjikian L, Creuzot - Garcher C, Korobelnik JF, et al. Microperimetry to predict disease progression in eyes at high risk of age-related macular degeneration disease: The PREVISION study. *Acta Ophthalmol*, 2023, 101(2):e135-e142.
- [14] Alibhai AY, Mehta N, Hickson - Curran S, et al. Test - retest variability of microperimetry in geographic atrophy. *Int J Retina Vitreous*, 2020, 6:16.
- [15] Roh M, Laíns I, Shin HJ, et al. Microperimetry in age-related macular degeneration: association with macular morphology assessed by optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol*, 2019, 103 (12): 1769-1776.
- [16] Coulibaly LM, Mohamed H, Fuchs P, et al. Inter and intra-device assessment of microperimetry testing in aging eyes. *Sci Rep*, 2024,

- 14(1):1049.
- [17] Fujii GY, de Juan E, Sunness J, et al. Patient selection for macular translocation surgery using the scanning laser ophthalmoscope. *Ophthalmology*, 2002, 109(9):1737-1744.
- [18] Hoffmann MB, Bach M, Kondo M, et al. ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG) (2021 update). *Doc Ophthalmol*, 2021, 142(1):5-16.
- [19] Santos AR, Raimundo M, Alves D, et al. Microperimetry and mfERG as functional measurements in diabetic macular oedema undergoing intravitreal ranibizumab treatment. *Eye*, 2021, 35(5):1384-1392.
- [20] Chen YC, Chen YT, Chen SN. Foveal microvascular anomalies on optical coherence tomography angiography and the correlation with foveal thickness and visual acuity in retinopathy of prematurity. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2019, 257(1):23-30.
- [21] Mohammadi S, Gouravani M, Salehi MA, et al. Optical coherence tomography angiography measurements in multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *J Neuroinflammation*, 2023, 20(1):85.
- [22] Takagi M, Maruko I, Yamaguchi A, et al. Foveal abnormalities determined by optical coherence tomography angiography in children with history of retinopathy of prematurity. *Eye (Lond)*, 2019, 33(12):1890-1896.
- [23] Czeszyk A, Hautz W, Jaworski M, et al. Morphology and vessel density of the macula in preterm children using optical coherence tomography angiography. *J Clin Med*, 2022, 11(5):1337.
- [24] Falavarjani KG, Iafe NA, Velez FG, et al. Optical coherence tomography angiography of the fovea in children born preterm. *Retina*, 2017, 37(12):2289-2294.
- [25] 阎雯娟, 牛童童, 肖云. 3D 手术视频系统及术中 OCT 在特发性黄斑前膜玻璃体切除术中的应用. *国际眼科杂志*, 2025, 25(1):122-127.
- [26] Isik-Ercek P, Sizmaz S, Esen E, et al. The effect of epiretinal membrane surgery on macular microvasculature: an optical coherence tomography angiography study. *Int Ophthalmol*, 2021, 41(3):777-786.
- [27] Kim GH, Hwang BE, Chun H, et al. Morphologic analysis of the foveal avascular zone for prediction of postoperative visual acuity in advanced idiopathic epiretinal membrane. *Sci Rep*, 2023, 13(1):10400.
- [28] Mao JB, Lao JM, Liu CY, et al. A study analyzing macular microvasculature features after vitrectomy using OCT angiography in patients with idiopathic macular epiretinal membrane. *BMC Ophthalmol*, 2020, 20(1):165.
- [29] Mao JB, Xu ZK, Lao JM, et al. Assessment of macular microvasculature features before and after vitrectomy in the idiopathic macular epiretinal membrane using a grading system: an optical coherence tomography angiography study. *Acta Ophthalmol*, 2021, 99(7):e1168-e1175.
- [30] Meuer SM, Myers CE, Klein BE, et al. The epidemiology of vitreoretinal interface abnormalities as detected by spectral-domain optical coherence tomography: the beaver dam eye study. *Ophthalmology*, 2015, 122(4):787-795.
- [31] Horie S, Corradetti G, Esmaeilkhani H, et al. Microperimetry in retinal diseases. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 2023, 12(2):211-227.
- [32] Xu ZK, Mao JB, Lao JM, et al. Macular retinal sensitivity and microvasculature changes before and after vitrectomy in idiopathic macular epiretinal membrane with classification. *Ophthalmologica*, 2021, 244(6):569-580.
- [33] 雷敏, 陈婷, 艾明. 特发性黄斑前膜患者神经节细胞复合体厚度与黄斑部深浅血流密度比值的相关性研究. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2023, 37(2):104-113.
- [34] Masri RA, Weltzien F, Purushothuman S, et al. Composition of the inner nuclear layer in human retina. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021, 62(9):22.
- [35] Hood DC, Odel JG, Chen CS, et al. The multifocal electroretinogram. *J Neuro Ophthalmol*, 2003, 23(3):225-235.
- [36] 黄时洲, 吴德正, 罗光伟, 等. 特发性视网膜前膜患者的多焦视网膜电图改变. *眼科学报*, 2005, 21(2):95-98.
- [37] 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. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*, 2019, 55(10):757-762.
- [38] Okawa Y, Maruko I, Kawai M, et al. Foveal structure and vasculature in eyes with idiopathic epiretinal membrane. *PLoS One*, 2019, 14(4):e0214881.
- [39] Dell'omo R, Cifariello F, Dell'omo E, et al. Influence of retinal vessel printings on Metamorphopsia and retinal architectural abnormalities in eyes with idiopathic macular epiretinal membrane. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54(12):7803-7811.
- [40] Baldascino A, Carlà MM, Vielmo L, et al. Microvascular changes after epiretinal membrane vitrectomy with intraoperative intravitreal dexamethasone implant: an OCT angiography analysis. *Diagnostics (Basel)*, 2024, 14(4):411.
- [41] Feng JY, Yang XT, Xu MQ, et al. Association of microvasculature and macular sensitivity in idiopathic macular epiretinal membrane: using OCT angiography and microperimetry. *Front Med*, 2021, 8:655013.
- [42] Kim JH, Kim YM, Chung EJ, et al. Structural and functional predictors of visual outcome of epiretinal membrane surgery. *Am J Ophthalmol*, 2012, 153(1):103-110.e1.
- [43] Harrison WW, Bearse MA Jr, Ng JS, et al. Multifocal electroretinograms predict onset of diabetic retinopathy in adult patients with diabetes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52(2):772-777.
- [44] Coppe AM, Lapucci G, Buzzonetti L, et al. Superficial and deep capillary plexuses: potential biomarkers of focal retinal defects in eyes affected by macular idiopathic epiretinal membranes? a pilot study. *Diagnostics*, 2022, 12(12):3205.
- [45] Scharf J, Freund KB, Sadda S, et al. Paracentral acute middle maculopathy and the organization of the retinal capillary plexuses. *Prog Retin Eye Res*, 2021, 81:100884.
- [46] Bacherini D, Dragotto F, Caporossi T, et al. The role of OCT angiography in the assessment of epiretinal macular membrane. *J Ophthalmol*, 2021, 2021:8866407.