

蓝黄视野联合黄斑区神经节细胞内丛状层检测在开角型青光眼早期诊断中的价值

林蕾蕾^{1,2}, 陈榆², 董楠楠^{1,2}

引用: 林蕾蕾, 陈榆, 董楠楠. 蓝黄视野联合黄斑区神经节细胞内丛状层检测在开角型青光眼早期诊断中的价值. 国际眼科杂志, 2025, 25(4): 544-550.

基金项目: 温州市科技局基础性医疗卫生科研项目 (No. Y2020366)

作者单位: ¹(325000) 中国浙江省温州市, 温州医科大学附属眼视光医院眼病中心; ²(310000) 中国浙江省杭州市, 杭州西湖之江眼科医院眼病中心

作者简介: 林蕾蕾, 女, 硕士研究生, 主治医师, 研究方向: 青光眼、眼底病。

通讯作者: 董楠楠, 女, 硕士研究生, 主治医师, 研究方向: 青光眼、白内障. dongnn1@163.com

收稿日期: 2024-09-22 修回日期: 2025-02-27

摘要

目的: 分析蓝黄视野 (B/Y) 联合黄斑区神经节细胞内丛状层 (GCIPL) 检测在开角型青光眼早期诊断中的价值。

方法: 前瞻性病例对照研究。收集 2023-05/2024-05 于温州医科大学附属眼视光医院之江院区就诊的 100 例 174 眼患者作为病例组, 健康志愿者 20 例 40 眼为对照组。病例组根据检查情况分为高眼压组、疑似青光眼组和早期青光眼组。所有研究对象均接受全面眼科检查、标准白/白视野 (W/W) 和 B/Y 检查, 并利用 SS-OCT 扫描视盘和黄斑区, 获得相关参数。分析 B/Y 联合黄斑区 GCIPL 诊断开角型青光眼的价值。

结果: 病例组确诊为早期原发性开角型青光眼为 30 例 52 眼、疑似开角型青光眼 46 例 82 眼、高眼压 24 例 40 眼。早期青光眼组 W/W-平均缺损 (MD)、B/Y-MD 值均小于对照组、高眼压组和疑似青光眼组, W/W-模式标准差 (PSD)、B/Y-PSD 值均高于对照组、高眼压组和疑似青光眼组 (均 $P < 0.05$); 疑似青光眼组 W/W-MD、B/Y-MD 值均小于对照组、高眼压组 (均 $P < 0.05$); 高眼压组 B/Y-MD 值小于对照组 ($P < 0.05$)。早期青光眼组黄斑区 GCIPL 各参数小于对照组、高眼压组和疑似青光眼组 (均 $P < 0.05$); 疑似青光眼组黄斑区 GCIPL 最小值、颞上方、颞下方均小于对照组、高眼压组 (均 $P < 0.05$)。早期青光眼组视盘周围视网膜神经纤维层 (RNFL) 参数中平均值、上方、下方、颞侧、5:00 位、6:00 位、12:00 位均小于对照组、高眼压组和疑似青光眼组 (均 $P < 0.05$); 疑似青光眼组 RNFL 参数中平均值、上方均小于对照组、高眼压组。早期青光眼组视神经乳头 (ONH) 参数中盘沿面积均小于对照组、高眼压组和疑似青光眼组, 水平杯盘比、垂直杯盘比均高于对照组、高眼压组和疑似青光眼组; 疑似青光眼组盘沿面积均小于对照组、高眼压组, 水平杯盘比、垂直杯盘比均高于对照组、高眼压组 (均 $P < 0.05$)。受试者工作特征 (ROC)

曲线结果显示, 视野参数、黄斑区 GCIPL 各参数、RNFL 参数对早期开角型青光眼、疑似青光眼均具有一定的诊断能力。决策曲线结果显示, 阈值在 0-1.0 时, B/Y 联合黄斑区 GCIPL 参数诊断早期开角型青光眼的净收益率均高于各指标的单独诊断效能。

结论: B/Y 联合黄斑区 GCIPL 检测可作为早期青光眼诊断的重要手段。

关键词: 开角型青光眼; 蓝黄视野; 黄斑区神经节细胞内丛状层; 视盘参数

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.4.05

Application value of blue - on - yellow perimetry combined with detection of macular ganglion cells inner plexiform layer in early diagnosis of open angle glaucoma

Lin Leilei^{1,2}, Chen Yu², Dong Nannan^{1,2}

Foundation item: Basic Medical and Health Research Project of Wenzhou Science and Technology Bureau (No. Y2020366)

¹Eye Disease Center, Eye Hospital, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325000, Zhejiang Province, China; ²Eye Disease Center, Hangzhou Xihu Zhijiang Eye Hospital, Hangzhou 310000, Zhejiang Province, China

Correspondence to: Dong Nannan. Eye Disease Center, Eye Hospital, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325000, Zhejiang Province, China; Eye Disease Center, Hangzhou Xihu Zhijiang Eye Hospital, Hangzhou 310000, Zhejiang Province, China. dongnn1@163.com

Received: 2024-09-22 Accepted: 2025-02-27

Abstract

• AIM: To analyze the value of blue-on-yellow perimetry (B/Y) combined with macular ganglion cells inner plexiform layer (GCIPL) detection in the early diagnosis of open angle glaucoma.

• METHODS: A prospective case - control study was conducted to collect 100 patients (174 eyes) from May 2023 to May 2024 in Eye Hospital of Wenzhou Medical University as the case group, and 20 healthy volunteers (40 eyes) as the control group. The case group was divided into high intraocular pressure group, suspected glaucoma group, and early glaucoma group based on the examination results. All study subjects underwent comprehensive ophthalmic examination, white-on-white

perimetry (W/W) and B/Y examination, and swept source optical coherence tomography (SS-OCT) was used to scan the optic disc and macula to obtain relevant parameters. The value of B/Y combined with macular GCIPL in the diagnosis of open angle glaucoma was analyzed.

• **RESULTS:** In the case group, 30 cases (52 eyes) were diagnosed with early primary open angle glaucoma, 46 cases (82 eyes) were suspected of open angle glaucoma, and 24 cases (40 eyes) were diagnosed with high intraocular pressure. The W/W mean defect (MD) and B/Y-MD values in the early glaucoma group were lower than those in the control group, high intraocular pressure group, and suspected glaucoma group. The W/W pattern standard deviation (PSD) and B/Y-PSD values were higher than those in the control group, high intraocular pressure group, and suspected glaucoma group (all $P < 0.05$). The W/W-MD and B/Y-MD values in the suspected glaucoma group were lower than those in the control group and the high intraocular pressure group (all $P < 0.05$). The B/Y-MD values in the high intraocular pressure group were lower than those in the control group ($P < 0.05$). The parameters of GCIPL in the macular area of the early glaucoma group were lower than those of the control group, high intraocular pressure group, and suspected glaucoma group (all $P < 0.05$). The minimum GCIPL in the macular area of the suspected glaucoma group, as well as the upper and lower temporal areas, were lower than those of the control group and the high intraocular pressure group (all $P < 0.05$). The average, upper, lower, temporal, 5:00, 6:00, and 12:00 positions of the retinal nerve fiber layer (RNFL) parameters around the optic disc in the early glaucoma group were lower than those in the control group, high intraocular pressure group, and suspected glaucoma group (all $P < 0.05$). The average and upper RNFL parameters in the suspected glaucoma group were lower than those in the control group and high intraocular pressure group. The rim area of the optic nerve head (ONH) parameters in the early glaucoma group was smaller than that in the control group, high intraocular pressure group, and suspected glaucoma group, while the horizontal and vertical cup-to-disc ratio was higher than those in the control group, high intraocular pressure group, and suspected glaucoma group; the rim area of the suspected glaucoma group was smaller than that of the control group and high intraocular pressure group, and the horizontal and vertical cup-to-disc ratio were higher than those of the control group and high intraocular pressure group (all $P < 0.05$). Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn, and the results showed that visual field parameters, macular GCIPL parameters, and RNFL parameters had certain diagnosability for early open angle glaucoma and suspected glaucoma. Decision curve was drawn, and the results showed that when the threshold was between 0 and 1.0, the net return rate of diagnosing early open angle glaucoma with the combination of B/Y and macular GCIPL parameters was higher than the individual diagnostic efficacy of each indicator.

• **CONCLUSION:** The combination of B/Y and macular GCIPL detection can be an important means for the early diagnosis of glaucoma.

• **KEYWORDS:** open angle glaucoma; blue-on-yellow perimetry; macular ganglion cells inner plexiform layer; optic disc parameters

Citation: Lin LL, Chen Y, Dong NN. Application value of blue-on-yellow perimetry combined with detection of macular ganglion cells inner plexiform layer in early diagnosis of open angle glaucoma. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2025, 25(4):544-550.

0 引言

青光眼是导致人类失明的主要眼病之一,据统计目前我国青光眼人数达2 100万,致盲人数已达到567万,给整个社会带来巨大的医疗及经济负担^[1]。然而青光眼发病隐匿,早期青光眼患者自觉症状不明显,当患者出现视力模糊、视野缺损等症状时往往处于晚期阶段,错过最佳治疗时机^[2]。因此,青光眼的早期诊断及早期治疗可最大程度挽救患者视力及改善其预后。视野检查是早期诊断青光眼的重要方法,研究显示常用的标准白/白视野(white-on-white perimetry, W/W)对早期检查有局限性,而青光眼在出现白光视野改变之前,会出现色觉障碍,特别是蓝黄色觉障碍,为早期筛查青光眼提供了重要途径^[3-4]。但视野检查属于心理物理学检查,受多种因素影响。另有报道指出早期青光眼的损害可影响黄斑区^[5]。而青光眼患者黄斑区神经节细胞内丛状层(ganglion cells inner plexiform layer, GCIPL)厚度比健康人群薄^[6]。同时,在青光眼进展中,GCIPL厚度的改变要早于视野这一功能性指标^[7]。此外,研究发现,扫频源光学相干断层扫描仪(swept source optical coherence tomography, SS-OCT)具有重复性好、非侵入等特点,可有效评价黄斑区 GCIPL 厚度^[8]。因而,本研究将蓝黄视野(blue-on-yellow perimetry, B/Y)与黄斑部 GCIPL 检测联合应用于早期开角型青光眼诊断中,以提高青光眼诊断准确率。

1 对象和方法

1.1 对象 前瞻性病例对照研究。收集2023-05/2024-05于温州医科大学附属眼视光医院之江院区连续就诊的100例174眼患者作为病例组。同时将同期于医院视力检查的20例40眼健康志愿者作为对照组。病例组:纳入标准:(1)患者因出现视力模糊或眼胀症状就诊,年龄20-50岁;(2)最佳矫正视力 ≥ 1.0 ;(3)屈光度在 ± 6.00 D之内,散光度数在 ± 3.00 D之内;(4)色觉功能正常;(5)裂隙灯检查屈光间质清晰;(6)眼压 ≥ 21 mmHg(1 mmHg = 0.133 kPa, Glodmann 眼压计测量);(7)前房角镜检查房角开放;排除标准:(1)伴视网膜病变或视神经病变(如神经炎、视网膜炎);(2)具有眼内手术史或激光治疗史;(3)具有可能影响眼部的全身性疾病(如糖尿病、神经系统疾病、全身血管疾病);(4)长期全身或局部应用糖皮质激素;(5)精神状态异常及意识障碍,无法进行正常沟通;(6)妊娠期或哺乳期女性;剔除或脱落标准:(1)不可信的视野检查结果或质量低的OCT报告;(2)未配合或不能完成眼科检查;(3)经评估为中晚期青光眼。对照组:纳入标准:(1)年龄20-50岁;(2)最佳矫正视力 ≥ 1.0 ;(3)Goldmann 压平计测量受检者眼压 < 21 mmHg(1 mmHg =

0.133 kPa),眼底检查平均杯盘比 <0.4 ,双眼 C/D 差 <0.2 ;
 (4) W/W 检查无异常;(5)瞳孔直径在 2.5–4.0 mm;排除
 标准:(1)屈光间质混浊及伴其它眼底疾病;(2)伴高血压、
 糖尿病等慢性全身性疾病;(3)具有青光眼家族史;(4)
 应用过缩瞳或散瞳药物。本研究符合《赫尔辛基宣言》原
 则,已取得医学伦理委员会审查批准(审批号:2023-002-
 K-2-01),所有参与者及其家属均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 全面的眼科检查

所有参与者均进行全面的眼科检查,包括视力检查(均接受同一标准的对数视力表,在正常足够的光强度下获得裸眼视力和最佳矫正视力)、裂隙灯生物显微镜检查(由外向内的检查顺序,由眼睑直至晶状体,明确病变情况)、眼轴测量(IOL Master 700 眼部光学生物测量仪测量)、眼压检查(接受同一 Glodmann 眼压计重复测量 3 次眼压)、直接眼底检查(同一名眼科医师用直接检眼镜在暗室内检查,观察眼部病变情况)、中央角膜厚度测量(IOL Master 700 眼部光学生物测量仪测量)等。

1.2.2 黄蓝视野检查

采用仪器 Humphrey Field Analyzer 3,程序为 30-2 中央视野,包括标准 W/W 检查、B/Y 检查:(1)标准 W/W 检查:程序:SITA 标准阈值;视标:III 号;背景亮度:34.5ASB;持续 200 ms。(2)B/Y 检查:程序:FASTPAC;视标:V 号;背景亮度:315ASB;持续 200 ms;波长:400 nm。检查前先向患者讲解检查程序和检查的注意事项,先进行 5–10 min 暗室适应,之后进行 3 min 预试验,5 min 之后检查正式开始。先进行 W/W 检查,休息 15 min 后进行 B/Y 检查,系统自动记录视野检查结果,记录平均缺损(mean defect, MD)、模式标准差(pattern standard deviation, PSD)值。

1.2.3 SS-OCT 检查

仪器为蔡司 5000 眼科光相干断层扫描仪,检测程序为 Fast RNFL Thickness 3.4,扫描程序为 Fast Optic Disc。被检者固视仪器内视标,检查者调整屈光状态,仪器自动追踪定位黄斑中心,扫描测量 6 mm×6 mm 范围,获得清晰稳定的图像后保存,采用 GCA 算法自动测量黄斑区 GCIPL 厚度,测量约 50% 神经节细胞及其树突的厚度,扫描了以黄斑中心凹为中心的椭圆形区域,内部垂直扫描线间隔 0.5 mm 及外部垂直扫描线间隔 2 mm,测量范围其椭圆短轴内半径为 0.5 mm,短轴半径为 2 mm,获得平均值、最小值及各区域值上方区、下方区、鼻上方、鼻下方、颞下方和颞上方的厚度参数。使用视盘 200×200 扫描模式获取视盘周围视网膜神经纤维层(retinal nerve fiber layer, RNFL)厚度相关参数(测定结果可提供 12 个钟点位、4 个象限的 RNFL 厚度)及视神经乳头(optic nerve

head, ONH)参数(视盘面积、视杯面积、盘沿面积、水平杯盘比、垂直杯盘比)。同一受检者的 SS-OCT 和视野检查在 1 d 内完成(图 1)。

1.2.4 亚分组

根据《我国原发性青光眼诊断和治疗专家共识(2014 年)》^[9]中相关内容将病例组分为 3 组:高眼压组、疑似青光眼组和早期青光眼组。具体评定方法根据临床经验及公式进行判断。参考标准:(1)高眼压组:至少一次眼压 ≥ 21 mmHg(连续测量 3 次取其平均值),但没有明确的青光眼性视神经改变(如视杯扩大、视盘切迹、盘沿丢失等相应区域的 RNFL 变薄)和青光眼特征性 B/Y 视野缺损。(2)疑似青光眼组:无青光眼特征性 B/Y 视野缺损,但有青光眼特征性视神经改变(眼压值则不纳入本研究诊断标准中)。(3)早期青光眼组:1)2 次以上眼压 >22 mmHg,日间多次眼压波动 >8 mmHg;2)早期青光眼视乳头损害,如生理凹陷垂直扩大,视盘改变(平均杯盘比 >0.6 或与对侧比较平均杯盘比差值 >0.2);3)视野检查 2 次异常,MD ≤ 6 dB,至少相邻 3 个点敏感度下降 >5 dB 或相邻 2 个点敏感度下降 ≥ 10 dB,PSD 图中非边缘性缺损 ≥ 3 个相邻位点 $P<5\%$ 或其中 ≥ 1 个位点 $P<1\%$;4)高眼压下房角镜检查房角开放;5)无色盲、屈光间质清晰,矫正视力 ≥ 1 ,排除其他疾病引起的眼底和视野改变;6)未用过缩瞳或散瞳药物,瞳孔直径 >2.5 mm。

统计学分析:应用统计软件 SPSS27.0 进行分析。Shapiro-Wilk 检验计量资料正态性,符合正态分布以 $\bar{x} \pm s$ 表示,多组间比较行单因素方差分析,组间进一步两两比较采用 SNK- q 检验;计数资料以 $n(\%)$ 表达,行 χ^2 检验;受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线及曲线下面积(area under the curve, AUC)评估各参数的诊断效能;决策曲线评价联合诊断的价值; $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 四组研究对象基线资料比较

病例组确诊为早期原发性开角型青光眼为 30 例 52 眼、疑似开角型青光眼 46 例 82 眼、高眼压 24 例 40 眼。早期青光眼组、高眼压组眼压明显高于疑似青光眼组、对照组($P<0.05$),见表 1。

2.2 四组研究对象视野参数比较

与对照组、高眼压组比较,疑似青光眼组、早期青光眼组 W/W-MD、B/Y-MD 值均降低,早期青光眼组 W/W-PSD、B/Y-PSD 值升高(均 $P<0.05$);与疑似青光眼组比较,早期青光眼组 W/W-MD、B/Y-MD 值均降低,而 W/W-PSD、B/Y-PSD 值升高(均 $P<0.05$);与对照组比较,高眼压组 B/Y-MD 值降低($P<0.05$),见表 2。

表 1 四组研究对象基线资料比较

组别	例数	年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	男/女(例)	眼轴 ($\bar{x} \pm s$, mm)	中央角膜厚度 ($\bar{x} \pm s$, μm)	前房深度 ($\bar{x} \pm s$, mm)	眼压 ($\bar{x} \pm s$, mmHg)
对照组	20	47.90 \pm 308	14/6	24.25 \pm 3.67	545.36 \pm 17.25	3.50 \pm 0.37	14.95 \pm 1.47
高眼压组	24	48.50 \pm 3.24	15/9	24.83 \pm 3.71	548.25 \pm 18.04	3.48 \pm 0.36	23.33 \pm 3.38 ^a
疑似青光眼组	46	47.65 \pm 3.06	26/20	24.50 \pm 3.62	550.36 \pm 22.07	3.47 \pm 0.41	15.22 \pm 1.97 ^c
早期青光眼组	30	47.97 \pm 3.06	18/12	24.66 \pm 3.90	551.13 \pm 22.00	3.47 \pm 0.42	24.10 \pm 3.44 ^{a,c}
$F\chi^2$		0.396	1.101	0.100	0.386	0.026	104.446
P		0.756	0.777	0.960	0.763	0.994	<0.001

注:对照组为同期于医院视力检查的健康志愿者。^a $P<0.05$ vs 对照组;^c $P<0.05$ vs 高眼压组;^e $P<0.05$ vs 疑似青光眼组。

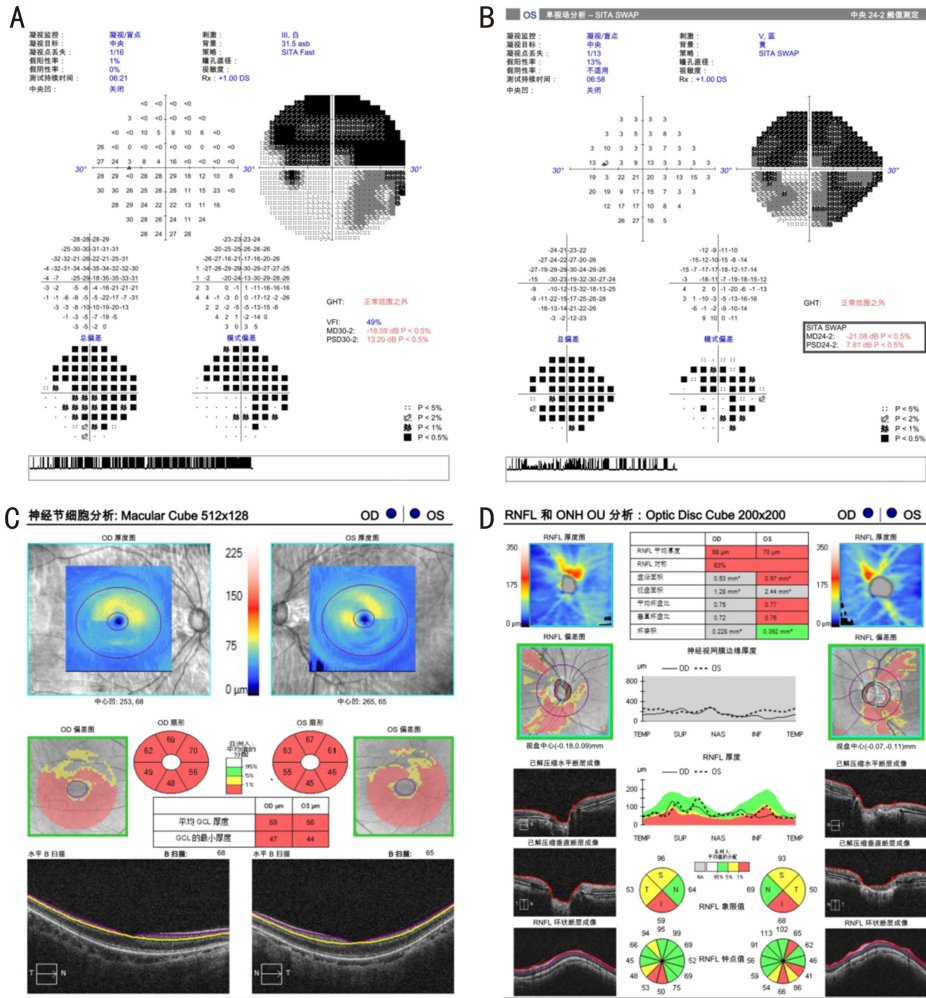


图1 李xx,女,39岁,经视野、OCT检查为开角型青光眼 A:W/W检查结果;B:B/Y检查结果;C:黄斑区GCIPL结果;D:RNFL和ONH结果。

表2 四组研究对象视野参数比较

组别	眼数	MD (dB)		PSD	
		W/W	B/Y	W/W	B/Y
对照组	40	-1.94±1.21	-6.65±2.36	1.72±0.42	3.07±0.86
高眼压组	40	-1.98±1.24	-7.94±2.40 ^a	1.75±0.45	3.11±0.88
疑似青光眼组	82	-3.28±1.42 ^{a,c}	-9.02±2.56 ^{a,c}	1.76±0.48	3.14±0.91
早期青光眼组	52	-4.43±1.56 ^{a,c,e}	-11.63±3.20 ^{a,c,e}	3.12±0.84 ^{a,c,e}	4.68±1.10 ^{a,c,e}
F		34.665	29.373	75.142	36.193
P		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:对照组为同期于医院视力检查的健康志愿者。^aP<0.05 vs 对照组; ^cP<0.05 vs 高眼压组; ^eP<0.05 vs 疑似青光眼组。

2.3 四组研究对象黄斑区 GCIPL 参数 早期青光眼组黄斑区 GCIPL 各参数均小于对照组、高眼压组和疑似青光眼组 (均 $P<0.05$); 疑似青光眼组黄斑区 GCIPL 最小值、颞上方、颞下方均小于对照组、高眼压组 (均 $P<0.05$), 见表3, 图2。

2.4 四组研究对象 RNFL 参数比较 早期青光眼组 RNFL 参数中平均值、上方、下方、颞侧、5:00位、6:00位、12:00位均小于对照组、高眼压组和疑似青光眼组 (均 $P<0.05$); 疑似青光眼组 RNFL 参数中平均值、上方均小于对照组、高眼压组 (均 $P<0.05$), 见表4, 图3。

2.5 四组研究对象 ONH 参数比较 早期青光眼组 ONH 参数中盘沿面积均小于对照组、高眼压组和疑似青光眼

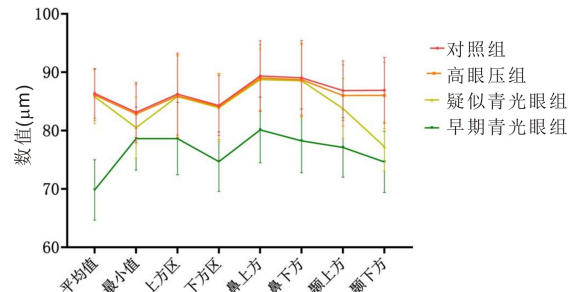


图2 四组研究对象黄斑区 GCIPL 参数的折线图。

组,水平杯盘比、垂直杯盘比均高于对照组、高眼压组和疑似青光眼组 (均 $P<0.05$); 疑似青光眼组盘沿面积均小于

对照组、高眼压组,水平杯盘比、垂直杯盘比均高于对照组、高眼压组(均 $P < 0.05$),见表5。

2.6 视野参数、GCIPL、RNFL 和 ONH 参数诊断开角型青光眼的效能 以对照组为参照,绘制 ROC 曲线,结果显示,视野参数、黄斑区 GCIPL 各参数、RNFL 参数(平均值、上方、下方、颞侧、5:00位、6:00位、12:00位)及 ONH 参数(盘沿面积、水平杯盘比、垂直杯盘比)对早期开角型青光眼均具有一定的诊断能力。以对照组为参照,视野参数(W/W-MD 及 B/Y-MD)、黄斑区 GCIPL 参数(颞下方、颞上方、最小值)、RNFL 参数(平均值和上方)及 ONH 参数(盘沿面积、水平杯盘比、垂直杯盘比)对疑似青光眼也具有一定的诊断能力,见表6。

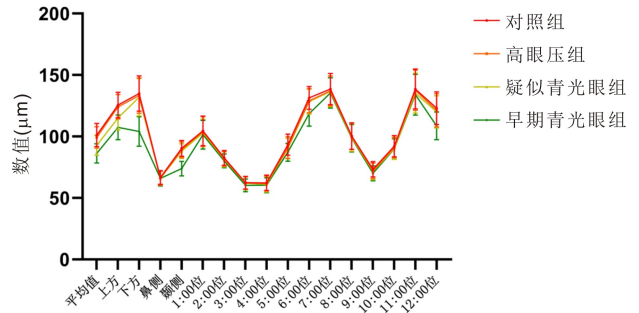


图3 四组研究对象黄斑区 RNFL 参数的折线图。

表3 四组研究对象黄斑区 GCIPL 参数对比

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

组别	眼数	平均值	最小值	上方区	下方区
对照组	40	86.36±4.26	83.14±5.12	86.25±7.02	84.30±5.13
高眼压组	40	86.10±4.40	82.85±5.07	85.94±7.10	84.12±5.67
疑似青光眼组	82	85.81±4.63	80.51±5.23 ^{a,c}	85.84±6.94	83.92±5.74
早期青光眼组	52	69.82±5.17 ^{a,c,e}	78.63±5.41 ^{a,c,e}	78.63±6.21 ^{a,c,e}	74.68±5.09 ^{a,c,e}
<i>F</i>		158.426	7.729	15.199	38.752
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

组别	眼数	鼻上方	鼻下方	颞上方	颞下方
对照组	40	89.36±6.02	89.04±6.41	86.85±5.12	86.91±5.63
高眼压组	40	89.01±5.74	88.71±6.28	86.01±5.26	86.04±5.70
疑似青光眼组	82	88.73±5.26	88.54±6.23	83.79±5.12 ^{a,c}	77.25±4.20 ^{a,c}
早期青光眼组	52	80.12±5.63 ^{a,c,e}	78.25±5.46 ^{a,c,e}	77.12±5.10 ^{a,c,e}	74.63±5.24 ^{a,c,e}
<i>F</i>		32.918	38.682	35.279	72.135
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:对照组为同期于医院视力检查的健康志愿者。^a $P < 0.05$ vs 对照组; ^c $P < 0.05$ vs 高眼压组; ^e $P < 0.05$ vs 疑似青光眼组。

表4 四组研究对象 RNFL 参数对比

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

组别	眼数	平均值	上方	下方	鼻侧	颞侧
对照组	40	101.16±9.36	125.63±10.36	134.86±14.36	66.63±5.62	90.36±6.40
高眼压组	40	99.25±8.70	124.13±9.87	133.25±14.27	66.02±5.82	89.25±6.37
疑似青光眼组	82	92.82±8.12 ^{a,c}	115.02±9.60 ^{a,c}	131.93±15.22	65.92±5.71	88.11±6.02
早期青光眼组	52	86.25±7.83 ^{a,c,e}	107.36±10.02 ^{a,c,e}	104.02±12.01 ^{a,c,e}	65.87±6.20	73.87±5.94 ^{a,c,e}
<i>F</i>		30.164	34.582	55.281	0.162	80.410
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	0.922	<0.001

组别	眼数	1:00位	2:00位	3:00位	4:00位	5:00位	6:00位
对照组	40	104.63±12.01	82.53±6.02	62.36±5.03	62.25±6.25	93.33±8.66	131.36±9.25
高眼压组	40	104.03±12.12	81.88±5.94	62.33±5.17	61.82±6.11	91.04±8.71	129.07±9.87
疑似青光眼组	82	102.86±11.28	81.34±6.11	61.84±5.20	61.04±6.23	90.25±8.36	128.34±10.11
早期青光眼组	52	101.36±11.64	80.14±5.64	60.25±5.12	60.34±6.10	87.24±7.25 ^{a,c,e}	118.63±10.25 ^{a,c,e}
<i>F</i>		0.708	1.338	1.804	0.868	4.303	15.848
<i>P</i>		0.548	0.263	0.147	0.459	0.006	<0.001

组别	眼数	7:00位	8:00位	9:00位	10:00位	11:00位	12:00位
对照组	40	138.63±12.64	100.36±10.73	73.25±6.25	92.13±8.64	138.63±16.25	123.02±13.25
高眼压组	40	137.02±12.15	100.04±10.64	72.01±6.33	91.07±8.32	137.62±16.34	121.28±13.54
疑似青光眼组	82	136.58±12.53	99.12±11.25	71.62±6.84	90.12±8.70	135.25±16.12	120.04±13.06
早期青光眼组	52	135.39±12.31	98.60±11.13	70.05±6.11	89.84±8.25	134.02±16.54	108.63±11.25 ^{a,c,e}
<i>F</i>		0.525	0.255	1.384	0.695	0.794	12.961
<i>P</i>		0.666	0.858	0.249	0.556	0.498	<0.001

注:对照组为同期于医院视力检查的健康志愿者。^a $P < 0.05$ vs 对照组; ^c $P < 0.05$ vs 高眼压组; ^e $P < 0.05$ vs 疑似青光眼组。

表 5 四组研究对象 ONH 参数比较

组别	眼数	视盘面积(mm ³)	视杯面积(mm ³)	盘沿面积(mm ³)	水平杯盘比	垂直杯盘比
对照组	40	2.83±0.47	1.08±0.39	2.18±0.54	0.51±0.09	0.44±0.08
高眼压组	40	2.80±0.51	1.09±0.41	2.07±0.51	0.53±0.07	0.46±0.09
疑似青光眼组	82	2.79±0.48	1.12±0.42	1.70±0.48 ^{a,c}	0.69±0.10 ^{a,c}	0.55±0.12 ^{a,c}
早期青光眼组	52	2.77±0.52	1.19±0.43	1.25±0.42 ^{a,c,e}	0.81±0.12 ^{a,c,e}	0.67±0.14 ^{a,c,e}
<i>F</i>		0.111	0.666	35.225	96.013	39.821
<i>P</i>		0.953	0.574	<0.001	<0.001	<0.001

注:对照组为同期于医院视力检查的健康志愿者。^a*P*<0.05 vs 对照组; ^c*P*<0.05 vs 高眼压组; ^e*P*<0.05 vs 疑似青光眼组。

表 6 视野参数、GCIPL、RNFL 和 ONH 参数诊断开角型青光眼的效能

参数	疑似青光眼		早期青光眼	
	AUC	<i>P</i>	AUC	<i>P</i>
视野参数				
W/W-MD	0.758	<0.001	0.888	<0.001
B/Y-MD	0.759	<0.001	0.893	<0.001
W/W-PSD	0.504	0.943	0.946	<0.001
B/Y-PSD	0.536	0.522	0.875	<0.001
黄斑区 GCIPL 参数				
平均值	0.557	0.305	0.992	<0.001
最小值	0.665	0.003	0.743	<0.001
上方区	0.539	0.482	0.789	<0.001
下方区	0.528	0.622	0.910	<0.001
鼻上方	0.520	0.727	0.876	<0.001
鼻下方	0.531	0.584	0.900	<0.001
颞上方	0.673	0.002	0.911	<0.001
颞下方	0.929	<0.001	0.956	<0.001
RNFL 参数				
平均值	0.757	<0.001	0.903	<0.001
上方	0.776	<0.001	0.901	<0.001
下方	0.534	0.549	0.961	<0.001
颞侧	0.617	0.360	0.968	<0.001
5:00 位	0.591	0.105	0.701	0.001
6:00 位	0.582	0.145	0.821	<0.001
12:00 位	0.565	0.245	0.799	<0.001
ONH 参数				
盘沿面积	0.751	<0.001	0.912	<0.001
水平杯盘比	0.913	<0.001	0.971	<0.001
垂直杯盘比	0.800	<0.001	0.911	<0.001

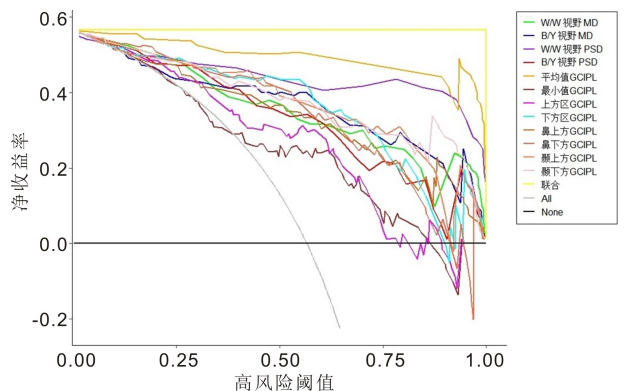


图 4 B/Y 联合黄斑部 GCIPL 诊断早期开角型青光眼的决策曲线。

和结构变化作为研究的重点。因此,本研究通过分析 B/Y 联合黄斑区 GCIPL 检测诊断开角型青光眼的价值,为早期青光眼诊断的研究提供更多思路。

研究表明,青光眼及高眼压症患者蓝色椎体细胞与其神经通路较早的被选择性损害^[13]。B/Y 是当前青光眼视野缺损早期检测敏感的功能性检查,与正常的白色光标、白色背景视野检查相比,理论上来说能更早期地发现开角型青光眼视野缺损。MD 是常用的全视野指数之一,其准确性完全依赖每个点上原有的正常值^[14]。正常人的平均变异在零左右波动,当出现视野缺损时 MD 变化较明显,但小的暗点对该值影响较小,普遍敏感性下降对 MD 影响较大。本研究中,B/Y-MD 在对照组、高眼压组、疑似青光眼组、早期青光眼组中依次加深,均提示了青光眼及高眼压症患者视野的改变,而 W/W-MD 在疑似青光眼组、早期青光眼组中依次加深。可见 B/Y 检查较 W/W 检查可更早发现青光眼的视野缺损。PSD 也是常用的全视野指数之一,表示视野当中光敏感度变化的平滑程度与正常人的差异^[15]。本研究发现,对照组、高眼压组、疑似青光眼组的 B/Y-PSD、W/W-PSD 之间均相似,而早期青光眼组 B/Y-PSD、W/W-PSD 值均升高,提示了 PSD 可提示早期开角型青光眼患者局部视野的不规则改变。但 Pokal 等^[16]研究指出 B/Y 诊断早期开角型青光眼的敏感度仅为 70.00%。可见从 B/Y 诊断早期青光眼具有一定的局限性,还需借助其他手段提高诊断准确率。

青光眼特征是获得性视神经萎缩、视网膜神经节细胞凋亡及其轴突丢失。而研究发现测定黄斑区结构与功能异常可提示早期青光眼损害情况^[17]。最近的研究也证实,黄斑厚度的变薄,尤其是神经节细胞复合体和内丛状

2.7 B/Y 联合黄斑区 GCIPL 诊断早期开角型青光眼的决策曲线 决策曲线显示,阈值在 0-1.0 时,B/Y 联合黄斑区 GCIPL 参数诊断早期开角型青光眼的净收益率均高于各指标单独诊断效能;且阈值在 0.33-0.91 时,B/Y 诊断早期开角型青光眼的净收益率高于 W/W,见图 4。

3 讨论

青光眼是全球范围内不可逆转失明的主要原因,其中视网膜神经节细胞的凋亡与发病机制密切相关,可导致视野缺损进而失明^[10-11]。在临床工作中,标准自动视野检查和 OCT 已被作为青光眼诊断和随访的主要检测工具。临床发现,在视野变化前,黄斑区视网膜神经损害及视盘病理性损伤已出现^[12]。因而,临床工作者将黄斑区功能

层的变薄主要原因是神经节细胞的丢失^[18-19]。本研究利用SS-OCT技术对四组的GCIPL厚度进行扫描,结果显示,早期青光眼组黄斑区GCIPL的各参数均变小,与张恒丽等^[20]观察原发性开角型青光眼的GCIPL相关参数结果相符。因青光眼早期即存在视网膜神经节细胞的损伤,致GCIPL厚度变薄,随着青光眼的进展,视网膜神经节细胞进一步损伤,可导致GCIPL厚度进一步变薄。临床研究发现,青光眼诊断研究中黄斑区GCIPL参数AUC值与RNFL参数相似^[21-22]。但本研究中,黄斑区GCIPL参数诊断早期开角型青光眼的效能整体高于RNFL、ONH参数。可能黄斑区GCIPL厚度图可反映所有区域与青光眼结构改变,而RNFL参数中鼻侧改变则与青光眼早期结构异常无关。但该研究结果还需更多证据进行支持,不过本研究结果提示了GCIPL厚度诊断早期开角型青光眼的效能可能更高。

B/Y意味着视功能检测,GCIPL厚度表示结构检测。因而,理论上来说结构和功能测量相结合对提高早期青光眼的诊断效能更佳。本研究将B/Y与GCIPL厚度联合应用于早期开角型青光眼的诊断中,绘制决策曲线显示,阈值在0-1.0时,B/Y联合黄斑区GCIPL参数诊断早期开角型青光眼的净收益率均高于各指标的单独诊断效能。本研究将代表视功能检测的B/Y与表示结构检测的GCIPL厚度联合应用于早期开角型青光眼的诊断中,突破了以往单一指标诊断的局限,为早期青光眼的诊断提供了更精准有效的手段,其临床应用价值显著,对青光眼的防治工作具有重要意义。

综上所述,B/Y联合黄斑区GCIPL检测可作为早期开角型青光眼诊断的重要手段,两种检测技术联合应用对早期青光眼预防、干预具有重要意义,B/Y联合黄斑区GCIPL检测也许可以更好地预测及监控早期开角型青光眼进展。但本研究研究样本量相对较小,可能无法代表更广泛的人群;且所收集病例时间跨度为1a,可能对于观察长期的诊断效果不足,后续可根据上述问题进行针对性研究。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:林蕾蕾论文选题与修改,初稿撰写;陈榆文文献检索,数据分析;董楠楠选题指导,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] Cheng CY, Wang NL, Wong TY, et al. Prevalence and causes of vision loss in east Asia in 2015: magnitude, temporal trends and projections. *Br J Ophthalmol*, 2020,104(5):616-622.
[2] 王雪,吕洋.高度近视与原发开角型青光眼临床特征的研究进展. *国际眼科杂志*, 2024, 24(9):1403-1407.
[3] Pokal U, Swathi N, Rajalakshmi AR, et al. Comparing retinal sensitivities on blue-on-yellow and green-on-yellow perimetry in glaucoma suspects. *Indian J Ophthalmol*, 2022,70(10):3550-3555.
[4] Dussan Molinos L, Huchzermeyer C, Lämmer R, et al. Blue-yellow

VEP with projector-stimulation in glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2022,260(4):1171-1181.
[5] 鞠宏,郝瑞,顾韞,等.应用MAIA微视野计评估青光眼黄斑部功能改变. *国际眼科杂志*, 2023,23(12):1950-1953.
[6] Tong J, Phu J, Alonso-Caneiro D, et al. High sampling resolution optical coherence tomography reveals potential concurrent reductions in ganglion cell-inner plexiform and inner nuclear layer thickness but not in outer retinal thickness in glaucoma. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2023,43(1):46-63.
[7] Richter GM, Madi I, Chu ZD, et al. Structural and functional associations of macular microcirculation in the ganglion cell-inner plexiform layer in glaucoma using optical coherence tomography angiography. *J Glaucoma*, 2018,27(3):281-290.
[8] Pujari A, Agarwal D, Sharma N. Clinical role of swept source optical coherence tomography in anterior segment diseases: a review. *Semin Ophthalmol*, 2021,36(8):684-691.
[9] 中华医学会眼科学分会青光眼学组.我国原发性青光眼诊断和治疗专家共识(2014年). *中华眼科杂志*, 2014,50(5):382-383.
[10] Yang Y, Sun X. Retinal ganglion cell death in glaucoma: advances and caveats. *Curr Eye Res*, 2023,48(1):1-10.
[11] Yao F, Peng JJ, Zhang ED, et al. Pathologically high intraocular pressure disturbs normal iron homeostasis and leads to retinal ganglion cell ferroptosis in glaucoma. *Cell Death Differ*, 2023,30(1):69-81.
[12] Sasagawa Y, Nakahara M, Takemoto D, et al. Optical coherence tomography detects early optic nerve damage before visual field defect in patients with pituitary tumors. *Neurosurg Rev*, 2023,46(1):85.
[13] Azuma K, Inoue T, Fujino R, et al. Comparison between blue-on-yellow and white-on-white perimetry in patients with branch retinal vein occlusion. *Sci Rep*, 2020,10(1):20009.
[14] Medeiros FA, Jammal AA. Validation of rates of mean deviation change as clinically relevant end points for glaucoma progression. *Ophthalmology*, 2023,130(5):469-477.
[15] Li Z, Xu ZK, Liu Q, et al. Comparisons of retinal vessel density and glaucomatous parameters in optical coherence tomography angiography. *PLoS One*, 2020,15(6):e0234816.
[16] Pokal U, Swathi N, Rajalakshmi AR, et al. Comparing retinal sensitivities on blue-on-yellow and green-on-yellow perimetry in glaucoma suspects. *Indian J Ophthalmol*, 2022, 70(10):3550-3555.
[17] 郑嘉琦,俞莹.正常眼压性青光眼患者黄斑区血流灌注状态与视野缺损的相关性研究. *中国中医眼科杂志*, 2023,33(2):123-126.
[18] 雷雅迪,刘鹤南,陈晓隆.光学相干断层扫描检测黄斑区神经节细胞复合体变化的研究进展. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2022,24(1):70-74.
[19] Rao HL, Dasari S, Puttaiah NK, et al. Optical microangiography and progressive ganglion cell-inner plexiform layer loss in primary open-angle glaucoma. *Am J Ophthalmol*, 2022,238:36-44.
[20] 张恒丽,闫晓伟,耿玉磊,等.视觉诱发电位和黄斑区神经节细胞内丛状层厚度在原发开角型青光眼早期诊断中的相关性. *临床眼科杂志*, 2021,29(1):9-13.
[21] Sun S, Ha A, Kim YK, et al. Dual-input convolutional neural network for glaucoma diagnosis using spectral-domain optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol*, 2021,105(11):1555-1560.
[22] Vazquez LE, Bye A, Aref AA. Recent developments in the use of optical coherence tomography for glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol*, 2021,32(2):98-104.