

高血压视网膜病变患者眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数的相关性

袁方¹, 夏文秀¹, 徐佩秋¹, 李雅维¹, 陈俊臣¹, 张晓玲²

引用:袁方,夏文秀,徐佩秋,等. 高血压视网膜病变患者眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数的相关性. 国际眼科杂志, 2025, 25(2):306-310.

作者单位:¹(101100)中国北京市,中国人民解放军火箭军特色医学中心;²(101100)中国北京市朝阳区六里屯社区卫生服务中心全科医学科

作者简介:袁方,本科,主管技师,研究方向:超声诊断。

通讯作者:夏文秀,本科,主治医师,研究方向:高血压与眼底视网膜病变. 13146417107@163.com

收稿日期:2024-05-08 修回日期:2024-12-27

摘要

目的:探讨高血压视网膜病变(HRP)患者眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数的相关性。

方法:回顾性纳入2021-06/2023-06在我院收治的50例50眼(左22眼,右28眼)HRP患者为试验组,并同期纳入50名50眼(左22眼,右28眼)健康体检者为健康组。并使用Pearson相关性分析眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数的相关性。

结果:眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数及两者联合诊断HRP的AUC值分别为0.853、0.844、0.935。Pearson相关性分析显示,颈动脉收缩期峰值血流速度与中心凹无血管区(FAZ)面积、FAZ周长、非圆度指数呈负相关,与黄斑区血管密度呈正相关(均 $P<0.05$);舒张末期血流速度与FAZ面积和黄斑区血管密度呈正相关(均 $P<0.05$);颈内动脉阻力指数与FAZ面积呈正相关($P<0.05$)。

结论:眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数联合诊断HRP均具有较好的应用价值。

关键词:高血压视网膜病变(HRP);眼底血流相关参数;颈动脉超声血流参数

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.2.24

Correlation between fundus blood flow parameters and carotid artery ultrasound blood flow parameters in patients with hypertensive retinopathy

Yuan Fang¹, Xia Wenxiu¹, Xu Peiqiu¹, Li Yawei¹, Chen Junchen¹, Zhang Xiaoling²

Correspondence to: Xia Wenxiu. Chinese People's Liberation Army Rocket Force Medical Center, Beijing 101100, China. 13146417107@163.com

Received:2024-05-08 Accepted:2024-12-27

Abstract

• **AIM:** To investigate the correlation between fundus blood flow parameters and carotid artery ultrasound blood flow parameters in patients with hypertensive retinopathy (HRP).

• **METHODS:** A total of 50 patients (22 left eyes and 28 right eyes) with HRP admitted to our hospital from June 2021 to June 2023 were retrospectively included as the experimental group, and 50 healthy physical examination subjects (22 left eyes and 28 right eyes) during the same period were included as the healthy group. Pearson correlation was used to analyze the correlation between fundus blood flow parameters and carotid artery ultrasound blood flow parameters.

• **RESULTS:** The AUC values of fundus blood flow parameters and carotid artery ultrasound blood flow parameters and their combined diagnosis of HRP were 0.853, 0.844 and 0.935, respectively. Pearson correlation analysis showed that carotid systolic peak blood flow velocity was negatively correlated with foveal avascular zone (FAZ) area, FAZ circumference and non-circularity index, and positively correlated with macular vascular density (all $P<0.05$). The end-diastolic blood flow velocity was positively correlated with FAZ area and macular vascular density (all $P<0.05$). The internal carotid artery resistance index was positively correlated with FAZ area ($P<0.05$).

• **CONCLUSION:** The combination of fundus blood flow parameters and carotid artery ultrasound blood flow parameters in the diagnosis of HRP has good application value in the diagnosis of HRP.

• **KEYWORDS:** hypertensive retinopathy (HRP); fundus blood flow parameters; carotid ultrasound flow parameters

Citation: Yuan F, Xia WX, Xu PQ, et al. Correlation between fundus blood flow parameters and carotid artery ultrasound blood flow parameters in patients with hypertensive retinopathy. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2025, 25(2):306-310.

0 引言

近几年,高血压病已逐渐成为我国最严重的慢性病之一^[1]。70%以上的高血压患者会出现不同程度的高血压

¹Chinese People's Liberation Army Rocket Force Medical Center, Beijing 101100, China; ²Department of General Medicine, Liulitun Community Health Service Center, Beijing 101100, China

视网膜病变 (hypertensive retinopathy, HRP), 这与长期高血压引发机体周微小动脉痉挛有关, 当高血压急性发作后可能会引起视力明显下降甚至失明, 将严重影响患者的生命健康^[2-3]。故选择一种有效诊断方式对提高 HRP 诊断准确率, 并早日采取治疗措施进行治疗、促进患者早期康复具有重要的积极意义。相干光断层扫描血流成像 (optical coherence tomography angiography, OCTA) 可通过检查 HRP 患者的视网膜血流变化, 计算相关参数, 从而评估视网膜及脉络膜血管结构和循环功能^[4]。OCTA 从视网膜小血管对人体血管进行预测, 而颈动脉超声则从大动脉预测疾病的风险情况。余燕成等^[5]的研究显示, 颈动脉彩色多普勒超声在妊娠期高血压综合征孕妇临床诊断中具有较好的应用价值, 其可准确判断机体血管状态, 有效评估患者颈动脉血管功能。那么, 眼底血流相关参数是否可用于评估全身血管状态, 其与颈动脉血流参数间是否具有相关性? 为此, 本研究探讨了 HRP 患者眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数的相关性, 目的是为 HRP 的临床诊断提供参考。

1 对象和方法

1.1 对象

回顾性纳入 2021-06/2023-06 在我院收治的 50 例 50 眼 (左 22 眼, 右 28 眼) HRP 患者为试验组, 并纳入同期我院 50 名 50 眼 (左 22 眼, 右 28 眼) 健康体检者为健康组。纳入标准: (1) 符合《高血压基层诊疗指南 (2019 年)》^[6] 中有关 HRP 的诊断标准, 临床表现为包括视力下降、视盘水肿、黄斑水肿、硬性渗出、棉绒斑、视网膜出血、视网膜动脉硬化等, 严重者会出现渗出性视网膜脱离; (2) 采用 Scheie (1953) 分级标准分级显示视网膜动脉硬化 II 级及以上^[7]; (3) 意识清醒, 可配合检查。排除标准: (1) 伴有糖尿病或高脂血症等; (2) 伴有影响视力的严重眼病; (3) 有颈部血管外伤史; (4) 伴有冠状动脉粥样硬化性心脏病、心绞痛; (5) 精神障碍; (6) 妊娠或哺乳期妇女。本研究经我院伦理委员会批准通过, 所有参与者均自愿参与研究并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 采集一般资料

收集参与者的一般情况, 包括性别、年龄、血压、病程及 HRP 分级等, 需告知所有患者安静环境下休息 10 min 以上, 采用欧姆龙电子血压计 (型号 HEM-7136, 国械注进 20162201120) 进行测量血压, 最后取 3 次平均值。HRP 分级采用 Keith-Wagener 分级法, 将 HRP 变共分为 4 个等级。I 级: 患者主要表现为视网膜动脉普遍轻度变窄, 以及血管收缩轻度变窄; II 级: 患者主要表现为视网膜动脉局限性缩窄、出现视网膜动静脉交叉征, 同时可见视网膜小动脉出现银丝状或铜丝状; III 级: 患者可出现硬性渗出、出血、棉絮斑以及广泛的微血管病变; IV 级: 患者出现视网膜水肿或视盘水肿^[8]。

1.2.2 OCTA 检查眼底血流相关参数

全部参与者均行

OCTA 检查, 并协助其取坐位, 双眼目视前方, 下颌置于下颌托, 额部贴紧额托, 被检查眼注视机器内蓝色光源, 扫描程序选择 Angio Vue Retina 黄斑区扫描, 范围 6 mm × 6 mm, 每位受试者均扫描 3 次, 留存图像质量参数达到 6 以上的成像图像保存于计算机中。采用系统内置测量软件 (OCTA 血流量化标准 2.0 版) 测量以下数据: (1) 中心凹无血管区 (foveal avascular zone, FAZ) 周长和 FAZ 面积; 扫描完成后, 在“Angio Retina”阅图界面, “Measure”下拉框中选择“FAZ”, 系统软件自动识别 FAZ 范围, 并计算面积数值。(2) FAZ 的非圆度指数 (A-circularity index, AI) 计算公式=测得的 FAZ 周长/等面积标准圆周长。(3) 血管密度 (VD): 扫描完成后, 在“Angio Retina”阅图界面, “Measure”下拉框中选择“Density”“Vessel Density&OCTThickness”列表中即显示浅层的“Superior-Hemi”“Inferior-Hemi”“Fovea”“ParaFovea”所对应的黄斑中心区的 VD, 以上数据测量 3 次后取平均值。

1.2.3 彩色多普勒超声检查颈动脉超声血流参数

采用飞利浦彩色多普勒超声显像仪 (HDI-5000-SONOCT) 5.0 MHz 频率扫描颈动脉三角区, 获得颈动脉超声的血流频谱。测量时取 3-5 个搏动周期的最佳频谱, 检测参数包括收缩期峰值血流速度 (peak systolic flow rate, PSV)、舒张末期血流速度 (end-diastolic flow rate, EDV) 及阻力指数 (resistance index, RI), $RI = (PSV - EDV) / PSV$ 。

统计学方法: 使用 SPSS 20.0 进行统计分析, 计数资料采用例 (%) 表示, 两组间比较采用 χ^2 检验; 计量资料采用 Shapiro-Wilk 法做正态性分析, 符合正态分析的计量资料采用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 两组间比较采用独立样本 t 检验, 三组间比较采用单因素方差分析或 Welch 检验, 事后比较采用 LSD- t 检验或 Tamhane's T2 检验; 眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数诊断高血压合并视网膜病变的应用价值采用工作特征曲线 (ROC) 曲线, 眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数的相关性采用 Pearson 相关性分析。P < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般资料比较

试验组收缩压 (142.42 ± 10.54 mmHg) 和舒张压 (90.84 ± 5.23 mmHg) 均明显高于健康组 (110.94 ± 9.74 mmHg, 74.60 ± 7.39 mmHg, 均 P < 0.001), 见表 1。

2.2 两组眼底血流相关参数比较

试验组 FAZ 面积、FAZ 周长、AI 明显高于健康组, 差异有统计学意义 (均 P < 0.05), 试验组黄斑区浅层 VD 明显低于健康组 (P < 0.05), 见表 2。

2.3 不同 HRP 分级眼底血流相关参数的比较

随着 HRP 分级越高, FAZ 面积、FAZ 周长、AI 水平有升高趋势, VD 水平有降低趋势, 见表 3。

表 1 两组一般资料比较

组别	例数	性别 (例)		年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	收缩压 ($\bar{x} \pm s$, mmHg)	舒张压 ($\bar{x} \pm s$, mmHg)	病程 ($\bar{x} \pm s$, a)	HRP 分级 (例)		
		男	女					II 级	III 级	IV 级
试验组	50	26	24	55.96 ± 8.85	142.42 ± 10.54	90.84 ± 5.23	10.38 ± 3.55	18	22	10
健康组	50	25	25	55.12 ± 8.90	110.94 ± 9.74	74.60 ± 7.39				
χ^2/t		0.040		0.473	15.510	12.680				
P		0.841		0.637	<0.001	<0.001				

注: 试验组: HRP 患者; 健康组: 同期健康体检者。

表2 两组眼底血流相关参数比较

组别	例数	FAZ 面积(mm ²)	FAZ 周长(mm)	AI	黄斑区浅层 VD(mm ⁻¹)
试验组	50	0.37±0.05	2.32±0.36	1.19±0.07	19.40±1.18
健康组	50	0.34±0.04	2.12±0.54	1.11±0.16	21.92±3.28
<i>t</i>		3.313	2.179	3.239	5.112
<i>P</i>		0.004	0.032	0.001	<0.001

注:试验组:HRP 患者;健康组:同期健康体检者。

表3 不同 HRP 分级眼底血流相关参数的比较

HRP 分级	例数	FAZ 面积(mm ²)	FAZ 周长(mm)	AI	黄斑区浅层 VD(mm ⁻¹)
Ⅱ级	18	0.33±0.03	2.11±0.23	1.10±0.13	22.13±2.51
Ⅲ级	22	0.36±0.03 ^a	2.25±0.27	1.16±0.12	20.34±3.03 ^a
Ⅳ级	10	0.39±0.05 ^{a,c}	2.35±0.24 ^a	1.22±0.09 ^a	18.52±1.50 ^a
<i>F</i>		9.810	3.240	3.431	6.377
<i>P</i>		<0.001	0.048	0.041	0.004

注:^a*P*<0.05 vs Ⅱ级;^c*P*<0.05 vs Ⅲ级。

2.4 两组颈动脉超声血流参数比较 试验组 PSV、EDV 低于健康组,RI 试验组(0.65±0.06)高于健康组(0.60±0.08),差异均有统计学意义(均*P*<0.001),见表4。

2.5 不同 HRP 分级颈动脉血流相关参数的比较 随着 HRP 分级越高,PSV、EDV 有降低的趋势;Ⅲ级患者的 RI 水平高于Ⅱ级患者(*P*<0.05),见表5。

2.6 眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数诊断 HRP 的 ROC 曲线 眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数及两者联合诊断 HRP 的 AUC 值分别为 0.853、0.844、0.935,见图1,表6。

2.7 眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数的相关性 Pearson 相关性分析显示,PSV 与 FAZ 面积、FAZ 周长、AI 呈负相关关系(均*P*<0.05),与 VD 呈正相关(*P*<0.05);EDV 与 FAZ 面积和 VD 呈正相关(均*P*<0.05),与 FAZ 周长和 AI 均无相关性(均*P*>0.05);RI 与 FAZ 面积呈正相关(*P*<0.05),与 FAZ 周长、AI、VD 均无相关性(均*P*>0.05),见表7。

2.8 HRP 病变典型图片 HRP 病变典型图片见图2。

3 讨论

由于早期 HRP 患者临床表现不典型,故从眼底血流相关参数及颈动脉超声参数上评估是否出现 HRP,具有一定临床意义。眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数在糖尿病视网膜膜变的诊断中有较好的临床应用价值,但在 HRP 诊断方面的相关研究暂无,值得进一步探讨^[9-10]。基于此,本研究将检测 HRP 患者的眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数水平,并分析 HRP 患者眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数的相关性,为临床诊断及治疗 HRP 提供有价值的参考依据。

OCTA 不但能分层显示视网膜脉络膜血管网信息,还能对高血压性黄斑缺血状态进行量化分析,因此早期监测视网膜黄斑区微血管对于评估 HRP 进展具有重要意义^[11]。FAZ 是位于黄斑中心的一个生理性无毛细血管区,是黄斑缺血的敏感指标。本研究发现,试验组 FAZ 面积 0.37±0.05 mm²、FAZ 周长 2.32±0.36 mm、AI 1.19±0.07 高于健康组的 FAZ 面积 0.34±0.04 mm²、FAZ 周长 2.12±0.54 mm、AI 1.11±0.16 水平,且随着 HRP 分级升高,FAZ

表4 两组颈动脉超声血流参数比较

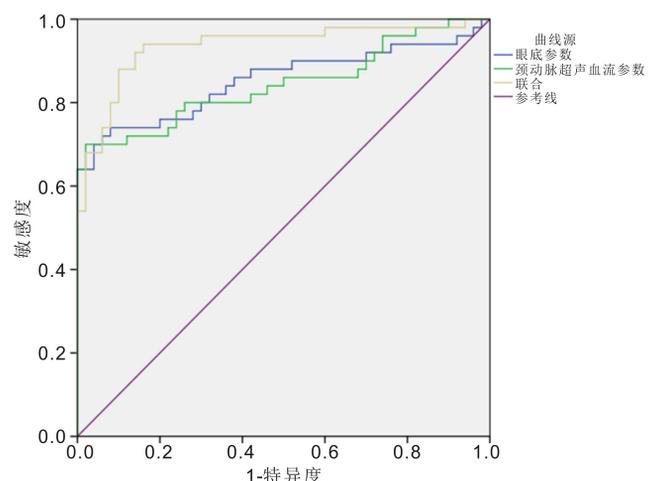
组别	例数	PSV(cm/s)	EDV(cm/s)	RI
试验组	50	54.95±14.15	19.08±2.13	0.65±0.06
健康组	50	65.18±15.66	24.98±5.11	0.60±0.08
<i>t</i>		3.427	7.536	3.536
<i>P</i>		0.001	<0.001	<0.001

注:试验组:HRP 患者;健康组:同期健康体检者。

表5 不同 HRP 分级颈动脉血流动力学的比较

HRP 分级	例数	PSV(cm/s)	EDV(cm/s)	RI
Ⅱ级	18	66.75±8.74	24.87±6.58	0.60±0.07
Ⅲ级	22	60.34±11.84	22.39±4.67	0.65±0.04 ^a
Ⅳ级	10	54.67±15.28 ^a	19.43±3.80 ^a	0.62±0.09
<i>F</i>		3.675	3.968	3.746
<i>P</i>		0.033	0.031	0.042

注:^a*P*<0.05 vs Ⅱ级。



面积、FAZ 周长、AI 水平逐渐升高,且 Takase 等^[12]研究发现,与健康人群相比,糖尿病视网膜膜病变患者的 FAZ 周长和面积显著增大,与本研究结果类似。这是因为血压升高会引起机体对一氧化氮等舒血管物质的利用率下降,并促

表 6 各指标 HRP 的诊断价值分析

项目	AUC	灵敏度	特异度	约登值	P	95%CI
眼底血流相关参数	0.853	0.72	0.96	0.68	<0.001	0.772-0.933
颈动脉超声血流参数	0.844	0.70	0.98	0.70	<0.001	0.763-0.925
联合	0.935	0.92	0.80	0.72	<0.001	0.884-0.986

表 7 眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数的相关性

指标	PSV		EDV		RI	
	r	p	r	p	r	p
FAZ 面积	-0.302	0.033	0.393	0.005	0.302	0.033
FAZ 周长	-0.374	0.007	0.040	0.780	0.057	0.695
AI	-0.301	0.034	0.005	0.974	0.088	0.545
VD	0.382	0.006	0.342	0.015	0.087	0.546

曲线分析显示,眼底血流相关参数对于 HRP 的诊断具有较好的临床价值。刘银和等^[18]的研究也显示,利用 OCTA 定量评估高血压引起的视网膜、脉络膜、神经改变有助于提高我们对 HRP 病理生理学的认识,并对预测、诊断 HRP 是非常重要的。同时,田甜等^[19]的研究也显示,OCTA 在观察 HRP 患者的黄斑区和视盘 VD 方面的应用价值高。

颈动脉彩色超声能客观反映视网膜血流情况,对预防、治疗、监测相关血管疾病的发生有一定现实意义^[20]。其中,PSV 可反映血管充盈程度和血流供应强度;EDV 降低提示远端组织供血不足;RI 增高代表着血管阻力增大,血流速度减慢^[21]。本研究发现,试验组 PSV (54.95 ± 14.15 cm/s) 和 EDV (19.08 ± 2.13 cm/s) 低于健康组的 PSV (65.18 ± 15.66 cm/s) 和 EDV (24.98 ± 5.11 cm/s),RI 试验组 (0.65 ± 0.06) 高于健康组 RI (0.60 ± 0.08),且随着 HRP 分级升高,PSV、EDV 水平逐渐降低,RI 水平逐渐升高,与庄雪芬等^[22]研究结果相近,进一步说明 HRP 患者视网膜中央动脉中血流速度较正常人缓慢。高血压初期血管仍具备自主调节功能,眼部血管的 PSV 和 EDV 升高引起血管收缩,RI 增大;随着病情的进展,当 HRP 进入硬化期后,患者将出现视网膜微血管内膜增厚、中壁增生、管腔变细,此外还存在部分微血管废用的现象,此时眼部血管的血流动力学的稳态受到破坏,相关的检查参数关系将发生改变^[23-24]。ROC 曲线分析显示,眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数联合检测诊断 HRP 有较高诊断价值。颈动脉超声血流参数有助于诊断糖尿病视网膜早期病变,但目前暂无关于颈动脉超声血流参数预测 HRP 早期病变的研究,希望本研究的结论能够给予临床工作者帮助,以推动颈动脉超声血流参数在预测 HRP 早期病变中的应用发展^[25]。

Pearson 相关性分析还显示,本研究结果发现,HRP 患者 RI 与 FAZ 面积呈正相关,PSV 与 FAZ 面积、FAZ 周长、AI 呈负相关,与 VD 呈正相关,这是因为在高血压持续状态下,通过氧化应激、内皮增生等机制会促使微血管重塑导致毛细血管脱落、黄斑血管重塑,黄斑区浅层 VD 降低,同时,持续的高血压状态会造成血管壁不可逆性增厚,使 FAZ 面积和 FAZ 周长明显升高,造成机体普遍视网膜动脉狭窄,患者常表现为 PSV、EDV 水平降低,RI 升高等现象^[26]。但本研究结果发现,EDV 与 FAZ 面积和 VD 呈正相关,与临床表现不一致,考虑到眼球运动、不同的扫描模式、不同的信号强度,分割算法和检测血管的阈值会影响 OCTA 检查结果的准确性,因此眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数联合在 HRP 诊断及治疗中的作用还需进一步研究证实。

综上所述,眼底血流相关参数与颈动脉超声血流参数

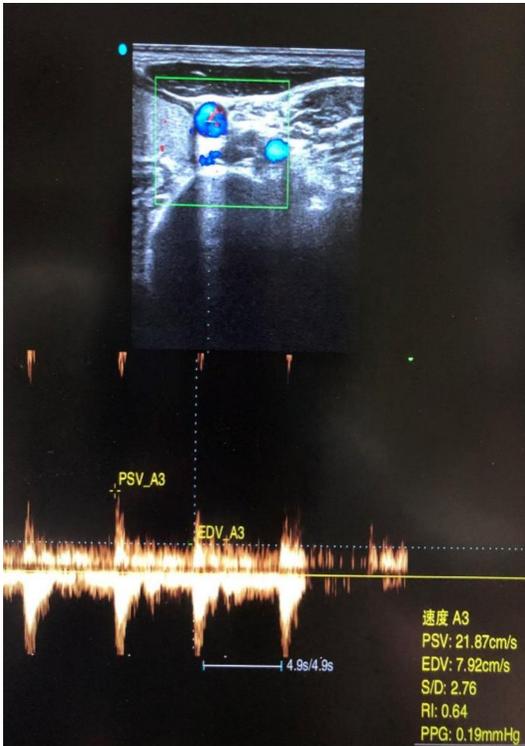


图 2 HRP 病变典型图片 王××,女性,58 岁,HRP 病史 9 a,于 2022-09-20 在我院行颈动脉超声检查。

使炎症因子过分表达,可加重患者血管内皮损伤,并导致血-视网膜屏障破裂,可引起视盘黄斑肿胀,使 FAZ 面积、FAZ 周长及 AI 水平逐渐升高^[13]。本研究还发现,试验组的 VD 低于健康组,且随着 HRP 分级升高,VD 水平逐渐降低。这与 Shin 等^[14]报道中得出的“高血压患者视盘区毛细血管 VD 水平低于正常人群”结论相一致。分析原因可能为持续性的高血压导致视网膜血管管径缩窄,使动静脉出现交叉压迫,从而导致毛细血管间距增大、黄斑区 VD 降低,视网膜血流量减少,进而引起视神经变薄、视力下降或丧失^[15]。同时,毛细血管在视网膜持续缺血缺氧状态下会闭塞甚至丢失,对黄斑造成累及,黄斑缺血会损伤毛细血管网,可进一步降低黄斑区 VD^[16]。李海东等^[17]研究发现,高血压性视网膜病变患者比健康组具有较低的深层视网膜黄斑血流密度,同时,黄斑区 VD 降低幅度随着高血压性视网膜病变患者病情的加重而提升。ROC

联合诊断 HRP 均具有较好的应用价值,进一步提升了诊断的准确度,降低了误诊率。但本研究仍存在不足之处,样本数量较少,且未纳入视功能指标,结果可能存在一定偏差,未来将扩大样本数量及研究范围进行深入探究,以提高结论可靠性。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。

作者贡献声明: 袁方参与论文选题与修改,初稿撰写;徐佩秋、李雅维、陈俊臣、张晓玲参与文献检索,数据分析;夏文秀参与选题指导,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] Heizhati M, Wang L, Yao XG, et al. Prevalence, awareness, treatment and control of hypertension in various ethnic groups (Hui, Kazakh, Kyrgyz, Mongolian, Tajik) in Xinjiang, Northwest China. *Blood Press*, 2020,29(5):276-284.

[2] Tsukikawa M, Stacey AW. A review of hypertensive retinopathy and chorioretinopathy. *Clin Optom (Auckl)*, 2020,12:67-73.

[3] Chillo P, Ismail A, Sanyiwa A, et al. Hypertensive retinopathy and associated factors among nondiabetic chronic kidney disease patients seen at a tertiary hospital in Tanzania: a cross-sectional study. *Int J Nephrol Renovasc Dis*, 2019,12:79-86.

[4] 王倩,延艳妮,杨婧研,等. 不同程度糖尿病视网膜病变患者黄斑区视网膜血流变化及影响因素:开滦眼病研究. *眼科*, 2022,31(4):253-259.

[5] 余燕成,王晓曼,于姐,等. 颈动脉彩色多普勒超声诊断妊娠高血压综合征孕妇颈动脉血管功能的应用价值分析. *中国药物与临床*, 2019,19(15):2572-2574.

[6] 中华医学会,中华医学杂志社,中华医学会全科医学分会,等. 高血压基层诊疗指南(2019年). *中华全科医师杂志*, 2019,18(4):301-313.

[7] 刘霞,吕圭源,陈素红,等. “双肾一夹”型新西兰白兔肾性高血压模型诱发眼底并发症初探. *浙江中医药大学学报*, 2013,37(4):437-441.

[8] 陈彦,潘建,骆亦婷,等. 高血压患者视网膜病变与血清血管内皮生长因子及 Toll 样受体 4 的相关性. *中华高血压杂志*, 2022,30(04):387-390.

[9] 秦程,刘晓辉. OCTA 在糖尿病视网膜病变中的临床应用现状. *国际眼科杂志*, 2020,20(7):1175-1178.

[10] 许厚银,郎胜坤. OCTA 对糖尿病视网膜病变患者视网膜微血管检测. *国际眼科杂志*, 2022,22(2):327-330.

[11] 吴桢泉,赵金凤,张福燕,等. 早产儿视网膜病变自然消退患儿黄斑光学相干断层扫描血管成像(OCTA)变化. *眼科新进展*, 2019,39(5):449-452.

[12] Takase N, Nozaki M, Kato A, et al. Enlargement of foveal avascular zone in diabetic eyes evaluated by en face optical coherence tomography angiography. *Retina*, 2015,35(11):2377-2383.

[13] Albarrán-Juárez J, Iring A, Wang SP, et al. Piezo1 and G_q/G₁₁ promote endothelial inflammation depending on flow pattern and integrin activation. *J Exp Med*, 2018,215(10):2655-2672.

[14] Shin YI, Nam KY, Lee WH, et al. Peripapillary microvascular changes in patients with systemic hypertension: an optical coherence tomography angiography study. *Sci Rep*, 2020,10:6541.

[15] Sun C, Ladores C, Hong J, et al. Systemic hypertension associated retinal microvascular changes can be detected with optical coherence tomography angiography. *Sci Rep*, 2020,10(1):9580.

[16] 管国奇,鲍炯琳,臧晶,等. OCTA 在雷珠单抗治疗慢性中心性浆液性脉络膜视网膜病变合并 CNV 的临床应用. *眼科学*, 2019,8(1):33-40.

[17] 李海东,方伟,吴素兰,等. 非增生期糖尿病视网膜病变患者黄斑区血流密度变化:基于 OCTA 的定量分析. *眼科新进展*, 2021,41(2):170-173.

[18] 刘银和,蒋自培,董海曙,等. III级高血压性视网膜病变黄斑区 OCT 及血管成像特征. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2021,23(10):736-744.

[19] 田甜,赵洋. OCTA 在观察高血压视网膜病变患者的黄斑区和视盘血流密度方面的应用. *中国医疗器械信息*, 2021,27(14):62-63.

[20] 李成武,庄曾渊,刘静,等. 高血压病患者眼底病变分级与眼血流动力学参数的相关性. *眼科*, 2017,26(3):206-209.

[21] 邢静,李慧丽,何毅,等. 活血化瘀药物眼局部离子导入对眼血流动力学影响的研究. *中国中医眼科杂志*, 2021,31(6):406-410.

[22] 庄雪芬,刘源. 高血压伴视网膜病变者的脑血流动力学变化. *心血管康复医学杂志*, 2015,24(4):394-397.

[23] 解宸,李博,张晓慧,等. 高血压视网膜病变的微血管变化机制和 OCTA 检查研究进展. *四川医学*, 2022,43(5):506-510.

[24] Harjasouliha A, Raiji V, Garcia Gonzalez JM. Review of hypertensive retinopathy. *Dis Mon*, 2017,63(3):63-69.

[25] 李洪旭,卢晓潇,王薇,等. 眼动脉超声血流参数对糖尿病视网膜病变的诊断价值. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2023,37(5):518-521.

[26] 栗宇,陈东宁,华琳,等. 体检人群中高血压视网膜病变患病率及危险因素分析. *中华健康管理学杂志*, 2022,16(5):312-317.