

[文章编号] 1671-587X(2025)05-1274-07

DOI:10.13481/j.1671-587X.20250514

高度近视患者黄斑区和视盘区视网膜结构及微血管密度变化 及其与眼轴长度的关系

俞 灏, 焦子芸, 王宁宇, 朱子语, 邱奥望, 张薇玮
(南京医科大学第一附属医院眼科, 江苏 南京 210029)

[摘要] **目的:** 探讨高度近视 (HM) 患者与非 HM 者在视网膜结构和微循环上的变化, 并阐明相关指标与眼轴长度 (AL) 的关系。**方法:** 选取 40 例单纯 HM 患者 (非病理性近视) 的 80 只眼作为病例组, 选取年龄和性别相匹配的 40 例非 HM 者的 80 只眼作为对照组。所有研究对象均行最佳矫正视力 (BCVA)、AL、等效球镜 (SE) 和光学相干断层扫描血管成像 (OCTA) 检查。采用 OCTA 检测 2 组研究对象浅层视网膜毛细血管丛 (SCP)、深层视网膜毛细血管丛 (DCP) 和视盘周围放射状毛细血管 (RPC) 血管密度、黄斑中心凹厚度 (CMT) 以及黄斑中心凹无血管区 (FAZ) 的面积及体积, 分析 2 组研究对象各项指标的差异。采用生物测量仪测量 2 组研究对象的 AL, 并分析 AL 与上述各项指标的关系。**结果:** 2 组研究对象年龄和性别构成比比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。与对照组比较, 病例组患者视网膜黄斑区域除中心凹处外整体、旁中心凹和中心凹周围的 SCP 血管密度及 DCP 血管密度均明显降低 ($P<0.05$)。与对照组比较, 病例组患者视盘区域 RPC 血管密度在整体、周围、周围上半部和周围下半部均明显降低 ($P<0.001$), 内盘 RPC 血管密度明显升高 ($P<0.01$)。与对照组比较, 病例组患者总体 FAZ 体积明显升高 ($P<0.01$), 旁中心凹和中心凹周围区域 CMT 明显降低 ($P<0.001$)。病例组患者 AL 与 SCP 血管密度 ($r=-0.642$, $P<0.001$)、DCP 血管密度 ($r=-0.388$, $P<0.001$)、RPC 血管密度 ($r=-0.639$, $P<0.001$) 和 CMT ($r=-0.495$, $P<0.001$) 均呈负相关关系; 与 FAZ 体积呈正相关关系 ($r=0.580$, $P<0.001$); 与 FAZ 面积无相关性 ($r=-0.062$, $P=0.587$)。**结论:** HM 患者在早期即可能出现 SCP、DCP 和 RPC 血管密度降低及中心视网膜变薄和 FAZ 体积增加, 且随着 AL 增加, SCP、DCP 和 RPC 血管密度及 CMT 降低, FAZ 体积增加, AL 与上述指标有关联。

[关键词] 高度近视; 视网膜毛细血管; 黄斑中心凹无血管区; 眼轴长度; 光学相干断层扫描血管成像

[中图分类号] R778.1 **[文献标志码]** A

[收稿日期] 2025-04-03

[录用日期] 2025-05-31

[基金项目] 国家自然科学基金青年基金项目 (81900873); 江苏省科技厅重点研发计划社会发展项目 (BE2023777); 江苏省人民医院临床能力提升工程项目 (JSPH-MB-2023-18)

[作者简介] 俞 灏 (1988—), 男, 江苏省南京市人, 在读硕士研究生, 主要从事眼底病基础和临床诊治方面的研究。

[通信作者] 邱奥望, 副教授, 副主任医师, 硕士研究生导师 (E-mail: awqiu@njmu.edu.cn);

张薇玮, 副教授, 主任医师, 硕士研究生导师 (E-mail: ww_zhang_nj@yeah.net)

©《吉林大学学报（医学版）》编辑部, 开放获取遵循 CC BY-NC-ND 协议。

© Editorial Board of Journal of Jilin University (Medicine Edition). Open access under CC BY-NC-ND license.

Changes in retinal structure and microvascular density in macular and optic disc regions and their correlations with axial length in high myopia patients

YU Hao, JIAO Ziyun, WANG Ningyu, ZHU Ziyu, QIU Aowang, ZHANG Weiwei
(Department of Ophthalmology, First Affiliated Hospital, Nanjing Medical University,
Nanjing 210029, China)

ABSTRACT Objective: To investigate the changes in retinal structure and microcirculation in the patients with high myopia (HM) and the non-HM individuals, and to elucidate the correlations between axial length (AL) and the related parameters. **Methods:** A total of 80 eyes from 40 patients with simple HM (non-pathological myopia) were enrolled as case group, while 80 eyes from 40 age- and sex-matched non-HM subjects were selected as control group. The best-corrected visual acuity (BCVA), AL, spherical equivalent (SE), and optical coherence tomography angiography (OCTA) examination were performed in all the subjects. OCTA examination was used to measure the vascular density of the superficial retinal capillary plexus (SCP), deep retinal capillary plexus (DCP), and radial peripapillary capillary (RPC), as well as central macular thickness (CMT), and the area and volume of the foveal avascular zone (FAZ) of the subjects in two groups. The differences in these parameters of the subjects between two groups were analyzed. The AL of the subjects in two groups was measured using a biometer, and its correlations with the parameters mentioned above were evaluated. **Results:** No statistically significant differences were observed in age or sex distribution between two groups ($P>0.05$). Compared with control group, both SCP and DCP vessel densities acrossing the whole (excluding the foveal), parafoveal, and perifoveal regions of the macular retina of the patients in case group were significantly decreased ($P<0.05$). Compared with control group, the RPC vessel densities in the optic disc region of the patients in case group were significantly decreased in the whole, peripapillary, peripapillary superior, and peripapillary inferior sectors ($P<0.001$), while the RPC vessel density was increased inside the disc ($P<0.01$). Compared with control group, the whole FAZ volume of the patients in case group was increased ($P<0.01$), while the parafoveal and perifoveal CMT were decreased ($P<0.001$). In case group, AL was negatively correlated with SCP vessel density ($r=-0.642$, $P<0.001$), DCP vessel density ($r=-0.388$, $P<0.001$), RPC vessel density ($r=-0.639$, $P<0.001$), and CMT ($r=-0.495$, $P<0.001$), but positively correlated with FAZ volume ($r=0.580$, $P<0.001$); no significant correlation was found between AL and FAZ area ($r=-0.062$, $P=0.587$). **Conclusion:** The patients with HM may exhibit early reductions in SCP, DCP, and RPC vessel densities, thinning of the central retina, and increased FAZ volume. Furthermore, as AL increases, SCP, DCP, and RPC vessel densities as well as CMT decreases, while FAZ volume increases, suggesting significant associations between AL and the parameters mentioned above.

KEYWORDS High myopia; Retinal capillary; Foveal avascular zone; Axial length; Optical coherence tomography angiography

近年来, 高度近视 (high myopia, HM) 患病率持续上升。研究^[1]显示: 至2050年全世界HM的人数将达9.38亿, HM已成为全球第二大致盲性眼病。HM定义为等效球镜 (spherical equivalent, SE) > -6.00 D的近视^[2], 后期常继发脉络膜萎缩、后巩膜葡萄肿和视网膜下出血等病变, 严重威

胁患者的视力和生活质量^[3-5]。屈光性近视是指因睫状肌痉挛导致其调节能力下降, 晶状体形态与表面曲率变化范围缩小, 角膜曲率同步改变所造成的近视, 多见于中低度近视患者。轴性近视为最常见的近视类型, 是由眼轴长度 (axial length, AL) 超过正常范围所致。绝大多数HM都属于轴性近

视。不同于屈光性近视, AL增加常导致更严重的视网膜脉络膜病变, 如豹纹状眼底、视网膜劈裂、黄斑区视网膜裂孔、脉络膜新生血管形成和脉络膜萎缩等, 最终引发视力损害^[6]。正常人的AL为22.0~24.0 mm, 而轴性近视患者的AL通常超过24.0 mm, 可达26.0 mm或更长^[6]。本研究重点探讨轴性HM患者的视网膜结构和微血管改变。

目前临床主要通过光学相干断层扫描血管成像(optical coherence tomography angiography, OCTA)中血管密度等血流灌注参数, 以及黄斑中心凹无血管区(foveal avascular zone, FAZ)面积、体积和形态指数等参数评估视网膜和脉络膜血流灌注及眼底和血管的病变情况。作为视觉中枢, 黄斑区微循环改变与视力损害密切相关。此外, 视网膜血管变化可能是视力功能退化的早期信号。本课题组前期研究^[7]开发了新指标, 即FAZ体积, 其可更准确地反映FAZ三维结构区域的真实情况, 并在评估及预测多种视网膜疾病进展中展现出更优的敏感性和特异性。

自OCTA问世, 近年来已有多项针对HM患者视网膜血流变化的报道。本研究通过深入探讨HM患者黄斑区和视盘区的视网膜结构及微血管改变, 并将上述区域细分为视网膜浅层毛细血管丛(superficial retinal capillary plexus, SCP)、深层毛细血管丛(deep retinal capillary plexus, DCP)和视盘周围放射状毛细血管(radial peripapillary capillary, RPC), 同时引入FAZ体积指标, 分析上述指标与AL的关系, 进一步理解HM发病机制, 并为临床早期诊断与疾病监测提供依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象 所有入组人员均签署知情同意书。本研究获得机构伦理审查委员会批准(伦理审批号: 2022-SR-141), 并在临床试验注册库ClinicalTrials.gov完成注册(注册号: NCT04255524), 研究严格遵循《赫尔辛基宣言》原则。依照近视荟萃分析分型(META-analysis for Pathologic Myopia, META-PM)标准, 将高度轴性近视分成C0~C4级, 具体定义: C0为无近视性眼底病变, C1为豹纹状眼底病变, C2为弥漫性脉络膜视网膜萎缩, C3为斑块脉络膜视网膜萎缩, C4为黄斑萎缩。单纯HM患者眼底病变为C0和C1级, 病理性近视患者眼底病变为C2、C3和C4级。本研究纳入于南京医科大学第一附属医院眼科就诊的40例(80只

眼)单纯HM(非病理性近视)患者作为病例组, 以及年龄和性别相匹配的非HM者40名(80只眼)作为对照组。纳入标准: ①年龄为18~45岁; ②病例组患者 $SE > -6.00$ D且 $AL \geq 26$ mm, 对照组研究对象 $-3 D \leq SE \leq 0$ D且 $23 \text{ mm} \leq AL \leq 24$ mm; ③最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA) ≥ 1.0 ; ④眼压 < 21 mmHg且双眼差值 < 5 mmHg, 无高血压病史; ⑤中央角膜厚度 ≥ 500 μm ; ⑥视盘杯盘比(cup-to-disc ratio, C/D) < 0.5 且双眼差值 < 0.2 , 无盘沿变窄、出血及视网膜神经纤维层(retinal nerve fiber layer, RNFL)缺损等青光眼表现; ⑦无全身性或眼部其他疾病。排除标准: ①OCTA检测图像信号强度低于7/10或存在严重伪像; ②角膜炎症、严重白内障、玻璃体混浊和眼底病变等导致屈光间质不清, 影响成像; ③患有青光眼、葡萄膜炎、视网膜脉络膜疾病和视神经疾病等可能影响眼底血流的其他眼底疾病(包括糖尿病性视网膜病变、高血压性视网膜病变和年龄相关性黄斑变性等); ④有眼部外伤、手术史、长期局部用药史或角膜接触镜(硬性或软性)长期佩戴史; ⑤散光度数超出 ± 1.50 D范围; ⑥无法配合完成全部检查。

所有研究对象行全面眼科检查, 包括BCVA、SE、裂隙灯和眼底检查, 以及采用Optovue Avanti AngioVue设备(美国Optovue公司)行OCTA检查。OCTA定量测量2组研究对象SCP、DCP和RPC血管密度, 黄斑中心凹厚度(central macular thickness, CMT)和FAZ面积, 经二次图像分割并计算FAZ体积。使用IOLMaster 700生物测量仪(德国蔡司公司)测量AL, 并分析2组研究对象各项指标的差异及各项指标与AL的相关性。

1.2 OCTA检查 使用Optovue Avanti AngioVue设备, 采用视网膜模式(6×6 mm)和视盘模式(4.5×4.5 mm)及分频幅去相干模块进行7 kHz轴向血流图像扫描。受检眼注视目镜中蓝色指示灯3 s以上, 设备以每秒70 000 A扫描速度进行X轴、Y轴扫描, 并生成 400×400 A扫描的体积图像。扫描质量评分 < 6 、分层定位错误或存在残余运动伪影的图像予以排除。通过软件自动分割生成视网膜毛细血管丛SCP和DCP及视盘多色超广域激光扫描眼底镜(scanning laser ophthalmoscope, SLO)的投影图像, 并计算中心凹区及周围区域的黄斑血管密度。见图1。其中SCP范围为内界膜(internal

limiting membrane, ILM) 至内丛状层 (inner plexiform layer, IPL) 外边界上方 9 μm; DCP 范围为 IPL 外边界上方 9 μm 至外丛状层 (outer plexiform layer, OPL) 外边界下方 9 μm。软件自动检测 Bruch膜开口, 测量其边缘和杯面积, 定义视盘轮廓, 并根据 Garway-Heath 图计算睫状毛细血管周围 9 个区域的血管密度。计算结果包括 FAZ 面积、体积以及 SCP、DCP 和 RPC 的血管密度 (体积占比)^[7]。

1.3 FAZ 体积测量 参考 XU 等^[7] 的半自动化方法测量 OCTA 图像中的 FAZ 体积。使用 MATLAB R2016b 软件 (MathWorks, USA) 处理图像。图像中 ILM 至 OPL 外边界下方 9 μm (OPL+9 μm) 之间的区域被视为关注区域。首先将关注区域展平: 以 OPL+9 μm 为统一底边, 把每条 A-scan 整体往下挪, 直到其底端对齐这条参考线, 再把所有 A-scan 的厚度补齐到该区的最大高度。展平后, 沿轴向方向以 3 μm 为层厚逐层投影, 就能得到一套 C-scan, 总层数等于展平后的厚度。展平函数的表达式如下: $r=r+[\max(O)-O(c)]$ 。其中 r 和 c 为 OCTA 图像像素的行列号, max () 表示取最大值运算, O 表示 OPL 外缘 + 9 μm 的行坐标。取 O 的最小值作为终点, 设移位后 ILM 的行坐标为 L, 并计算展平后关注区域的高度, 即 H。 $H=\max(O)-\min L(c)$, $c=1, 2, 3 \dots 400$, 其中 min () 为取最小值运算。

本研究将最邻近 ILM 层的已标注 FAZ 区域复

制, 自下而上逐层填充间隙。通过逆向拼合操作, 将标注映射至原始 OCTA 图像空间位置。最终通过累加所有标记像素获得 FAZ 总体积。

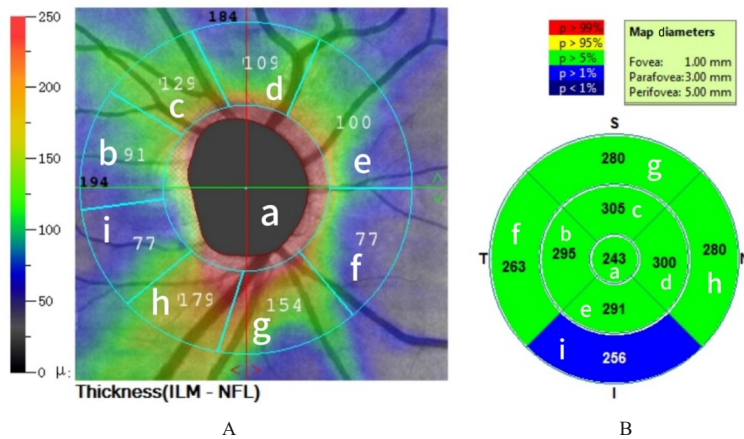
本研究参照 SCP 与 DCP 分层标准, 进行以下定义: 浅层 FAZ 体积为 IPL 外边界上方 9 μm 至 ILM 之间的标记体素总和; 深层 FAZ 体积为 IPL 外边界上方 9 μm 和 OPL 外边界下方 9 μm 之间的标记体素总和。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 23.0 统计软件进行统计学分析。2 组研究对象性别以构成比进行统计描述, 组间比较采用 χ^2 检验。2 组研究对象年龄、AL、SCP、DCP 和 RPC 血管密度及 CMT 以及 FAZ 面积和体积, 均符合正态分布, 以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 2 组间样本均数比较采用两独立样本 t 检验。AL 与 SCP、DCP 和 RPC 血管密度、CMT 和 FAZ 体积的相关性分析采用 Pearson 相关性分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 组研究对象一般资料 2 组研究对象年龄和性别构成比比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 1。与对照组 ($-0.27 D \pm 0.22 D$) 比较, 病例组患者 SE ($-7.73 D \pm 1.81 D$) 明显增加 ($P < 0.05$)。与对照组 ($23.45 \text{ mm} \pm 0.51 \text{ mm}$) 比较, 病例组患者 AL ($26.57 \text{ mm} \pm 0.61 \text{ mm}$) 明显增加 ($P < 0.05$)。

2.2 2 组研究对象黄斑区域毛细血管密度 与对照组比较, 病例组患者视网膜整体、旁中心凹和中



A: Optic disc (a: Optic disc; b-i: Peripapillary region with 0.75 mm-wide annular retinal area); B: Macular zonation (a: Foveal region, with diameter of 1.00 mm; b-e: Parafoveal region, annular area between 1.00 mm and 3.00 mm from center; f-i: Perifoveal region, annular area between 3.00 mm and 5.00 mm from center).

图 1 视盘(A)和黄斑(B)分区示意图

Fig. 1 Schematic diagrams of optic disc and macular zonation

表1 2组研究对象的基线临床特征

Tab. 1 Baseline clinical characteristics of subjects in two groups (n=40)

Group	Age (year)	Gender (Male/female)
Control	29.50±9.26	20/20
Case	33.65±11.51	19/21
t/χ^2	1.777	0.050
P	0.080	0.823

心凹周围区域的SCP及DCP血管密度均明显降低 ($P<0.05$)。病例组和对照组中心凹区域SCP及DCP血管密度比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。见表2。

2.3 2组研究对象视盘周围RPC血管密度 与对照组比较, 病例组患者内盘区域RPC血管密度明显升高 ($P=0.001$), 整体、周围以及周围上/下部RPC血管密度均明显降低 ($P<0.001$)。见表3。

表2 2组研究对象黄斑区域毛细血管密度

Tab. 2 Vessel densities in macular region of subjects in two groups (n=40, $\bar{x}\pm s, \eta/\%$)

Group	SCP vessel density				DCP vessel density			
	Whole	Foveal	Parafoveal	Perifoveal	Whole	Foveal	Parafoveal	Perifoveal
Control	51.13±8.07	20.33±4.68	55.09±2.36	53.09±2.45	54.63±5.31	36.10±6.18	58.20±3.82	55.92±5.71
Case	47.82±5.09	20.86±7.51	48.24±6.20	48.51±5.21	46.78±5.52	35.74±7.56	52.92±5.34	47.06±6.17
t	-3.103	0.536	-9.236	-7.115	-9.167	-0.330	-7.193	-9.427
P	0.002	0.593	<0.001	<0.001	<0.001	0.742	<0.001	<0.001

表3 2组研究对象视盘周围RPC血管密度

Tab. 3 RPC vessel densities around optic disc of subjects in two groups (n=40, $\bar{x}\pm s, \eta/\%$)

Group	Whole	Inside disc	Peripapillary	Peripapillary superior	Peripapillary inferior
Control	57.83±2.80	61.80±2.77	59.70±3.04	59.40±2.77	59.55±3.36
Case	53.28±4.04	63.60±4.14	53.76±5.68	54.43±6.11	52.90±5.88
t	-8.279	3.232	-8.247	-6.626	-8.783
P	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001

2.4 2组研究对象CMT和FAZ面积及体积 病例组和对照组研究对象中心凹区域CMT、FAZ面积及深层FAZ体积比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。与对照组比较, 病例组患者旁中心凹区和中心凹周围区域CMT均明显降低 ($P<0.001$), 总体FAZ体积均明显增加 ($P<0.01$)。见表4。

2.5 HM患者AL和其他指标间的相关性 HM患者AL与SCP血管密度 ($r=-0.642, P<0.001$)、DCP血管密度 ($r=-0.388, P<0.001$)、RPC血管密度 ($r=-0.639, P<0.001$)和CMT ($r=-$

$-0.495, P<0.001$)呈负相关关系, 与FAZ体积呈正相关关系 ($r=0.580, P<0.001$), 与FAZ面积无相关性 ($r=-0.062, P=0.587$)。

3 讨论

本研究通过OCTA技术获取黄斑及视盘的各类指标, 系统评估HM患者视网膜结构和微循环变化及其与AL的相关性, 结果显示: 与对照组比较, 病例组患者视网膜SCP及DCP血管密度在整体、旁中心凹和中心凹周围区域明显降低, 内盘区

表4 2组研究对象CMT和FAZ面积及体积

Tab. 4 CMT and areas and volumes of FAZ of subjects in two groups (n=40, $\bar{x}\pm s$)

Group	CMT ($l/\mu\text{m}$)			FAZ area (S/mm^2)	FAZ volume (V/mm^3)		
	Foveal	Parafoveal	Perifoveal		Whole	Superficial	Deep
Control	239.61±13.51	319.29±9.95	283.83±11.18	0.251±0.062	0.162±0.016	0.031±0.009	0.126±0.011
Case	245.91±27.18	304.04±22.16	267.61±19.30	0.274±0.098	0.169±0.015	0.040±0.005	0.129±0.012
t	1.856	-5.615	-6.504	1.774	2.855	7.819	1.648
P	0.065	<0.001	<0.001	0.078	0.005	1.648	0.101

域RPC血管密度明显升高。旁中心凹和中心凹周围CMT均明显降低, 总体和浅表FAZ体积明显增加。Pearson相关分析结果显示: HM患者AL与SCP、DCP和RPC血管密度及CMT均呈负相关关系, 与FAZ体积呈正相关关系。本研究创新性引入了FAZ体积这一参数概念, 并在层分割的基础上, 分析了FAZ体积和面积, 结果发现病例组患者FAZ体积高于对照组。尽管FAZ面积有所增加, 但差异无统计学意义。在病例组中, 随着AL不断增加, FAZ体积不断增加。HM患者中FAZ变化的原因可能有以下2点: 第一, 在近视进展过程中, 视网膜血管主干的牵拉可能会减少视网膜血流, 进而导致黄斑FAZ大小发生变化^[8-9]; 第二, 在眼轴伸长的眼中, 整个黄斑区变薄, 可能会导致耗氧减少, 从而引起视网膜血流减少和FAZ增加^[10]。CHENG等^[11]报道AL与FAZ面积呈正相关, 然而YU等^[12]和TAN等^[13]则指出AL或屈光度数与FAZ面积并不相关。眼轴与FAZ面积的相关性目前仍未有定论。这可能与FAZ面积是一个二维指标, 并不能全面地反映FAZ这一三维结构的情况有关。因此, 本研究使用FAZ体积这个指标, 能更精确地反映HM患者FAZ的变化。

近2年来, 已有研究^[14-15]发现HM患者的视网膜血流量减少。OCTA可以提供包括毛细血管和FAZ等更为详细的视网膜血管信息, 可测量黄斑区域视网膜各层的血管密度, 现已被广泛用于检测病理性近视的眼底改变^[16-18], 但在单纯HM患者方面的应用还在兴起阶段。研究^[19-20]显示: HM患者AL增加, 从而产生视网膜和脉络膜拉伸, 这种机械拉伸导致血管变窄, 继发视网膜血管密度降低, 这与本研究结果高度一致。此外, 本研究发现: HM患者总体视网膜血管密度下降而黄斑中心凹血管密度无明显差异。LI等^[21]也发现, 在早期并未发生病理性视网膜病变的HM患者中, 中心凹处的血管密度高于对照组, 其认为这可能是研究对象的个体差异。本文作者根据既往文献^[22]提出了2个可能的原因: ①中心凹视网膜相较于周边视网膜更能耐受牵引和拉伸; ②内界膜或后玻璃体皮层具有一定的切向牵引, 抵抗了部分拉伸作用。黄斑中心凹在维持视力方面尤为重要, 而本研究中单纯HM患者黄斑中心凹区域的血管密度未见明显异常, 这可能是由于单纯HM患者具有相对健康的眼部状态和良好视力。有关病理性近视的研究^[23-25]显示:

在病理性近视的进展中, 中心凹旁和周围区域的病变似乎也早于中心凹区域, 说明了中心凹旁和周围区域的血流变化能更早地提示HM的发展。此外, 还有研究^[26-27]表明: 近视患者的视网膜脉络膜血流减少可能导致巩膜缺血和缺氧, 造成巩膜结构改变从而加重近视; 近视眼患者的视网膜屏障通透性异常增加可能与其黄斑中心凹血管密度变化相关。

RPC是视网膜神经纤维层内毛细血管床的独特网络结构, 在滋养视网膜神经节细胞复合体(ganglion cell complex, GCC)方面发挥着重要作用。本研究结果显示: 与对照组比较, 病例组患者RPC血管密度明显降低, 然而病例组患者内盘区域RPC血管密度增加。刘晓静等^[28]的报道也指出: 除内盘外, 其他区域RPC血管密度均降低。上述研究结果提示: 内盘的大血管可能抵抗视网膜变薄、微血管收缩导致的血管阻力增加。

本研究也有一些局限性。首先, 本研究未采取多中心的临床样本分析可能会造成一定的偏倚。进一步的研究可以通过扩大样本量, 扩展研究中心数量, 并且增加更细致的分组来减少偏倚。其次, 本研究是横断面研究, 后期可对HM患者长期随访来探究HM的变化过程。最后, OCTA机器很难消除所有伪影, 可能会影响血管密度测量。

综上所述, 与非HM者比较, 单纯HM患者黄斑区视网膜SCP和DCP的血管密度降低; RPC除了内盘血管密度升高外, 其余均降低; CMT在旁中心凹和中心凹周围明显降低; FAZ面积无明显变化, 但FAZ体积明显增加, 提示FAZ体积比FAZ面积能够更加敏感地反映FAZ变化。HM患者的SCP、DCP和RPC血管密度以及CMT均与AL呈负相关关系, 而FAZ体积与AL呈正相关关系。

利益冲突声明:

所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献声明:

俞灏参与论文撰写, 焦子芸、王宁宇和朱子语参与研究对象招募、数据整理及统计学分析, 邱奥望和张薇玮参与研究设计及论文审阅。

[参考文献]

- [1] 杨冬梅, 梁刚, 李俊, 等. 高度近视巩膜病理改变特征及相关调控分子[J]. 眼科新进展, 2025, 45(1): 55-59.

- [2] 曾俊鸿. 高度近视合并青光眼的诊断研究进展[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)医药卫生, 2024(6): 16-19.
- [3] 时雪静, 郑天烁, 王 强. 高度近视并发症眼底病变的研究进展[J]. 眼科新进展, 2024, 44(5): 415-420.
- [4] 龙丹宁, 莫 亚, 何 希, 等. 高度近视与脉络膜微循环相关研究进展[J]. 中国中医眼科杂志, 2023, 33(4): 374-378.
- [5] TSENG G L, CHEN C Y. Evaluation of high myopia complications prevention program in university freshmen[J]. *Medicine*, 2016, 95(40): e5093.
- [6] LI J, DAN Y S, CHUA S Q, et al. Pathologic myopia in highly myopic patients with high axial anisomyopia[J]. *Br J Ophthalmol*, 2024, 108(3): 411-416.
- [7] XU Q Z, ZHANG W W, ZHU H J, et al. FOVEAL AVASCULAR ZONE VOLUME: a new index based on optical coherence tomography angiography images [J]. *Retina*, 2021, 41(3): 595-601.
- [8] SUNG M S, LEE T H, HEO H, et al. Association between optic nerve head deformation and retinal microvasculature in high myopia[J]. *Am J Ophthalmol*, 2018, 188: 81-90.
- [9] HE J N, CHEN Q Y, YIN Y, et al. Association between retinal microvasculature and optic disc alterations in high myopia[J]. *Eye*, 2019, 33(9): 1494-1503.
- [10] PIAO H L, GUO Y, ZHANG H W, et al. Acircularity and circularity indexes of the foveal avascular zone in high myopia[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 16808.
- [11] CHENG D, CHEN Q, WU Y F, et al. Deep perifoveal vessel density as an indicator of capillary loss in high myopia[J]. *Eye*, 2019, 33(12): 1961-1968.
- [12] YU J, JIANG C H, WANG X L, et al. Macular perfusion in healthy Chinese: an optical coherence tomography angiogram study[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015, 56(5): 3212-3217.
- [13] TAN C S, LIM L W, CHOW V S, et al. Optical coherence tomography angiography evaluation of the parafoveal vasculature and its relationship with ocular factors[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(9): OCT224-OCT234.
- [14] 郭春玲, 王丽璽, 郑 丹, 等. 非病理性高度近视青少年患者患眼黄斑区浅层视网膜血流密度特征研究[J]. 临床军医杂志, 2024, 52(12): 1262-1264, 1268.
- [15] 张逸非, 都婉红, 赵梅生, 等. OCTA检测高度近视患者视网膜脉络膜厚度及血流变化的研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2023, 23(4): 597-601.
- [16] FAN H, CHEN H Y, MA H J, et al. Reduced macular vascular density in myopic eyes[J]. *Chin Med J*, 2017, 130(4): 445-451.
- [17] AL-SHEIKH M, PHASUKKIJWTANA N, DOLZ-MARCO R, et al. Quantitative OCT angiography of the retinal microvasculature and the choriocapillaris in myopic eyes [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58(4): 2063-2069.
- [18] 朱紫怡, 杨叶蓁, 张 凤, 等. 视网膜静脉阻塞合并黄斑灌注状态不良与视力的相关性[J]. 中南大学学报(医学版), 2024, 49(6): 943-950.
- [19] 邵伊润, 毛剑波, 沈丽君, 等. 高度近视继发脉络膜新生血管和单纯高度近视患眼以及正常眼黄斑区血流参数对比观察[J]. 中华眼底病杂志, 2019, 35(5): 446-450.
- [20] 冯立森, 杨 叶, 胡 亮, 等. 应用光学相干断层扫描血管成像技术分析近视眼黄斑区微血管变化[J]. 温州医科大学学报, 2017, 47(6): 391-396.
- [21] LI M, YANG Y, JIANG H, et al. Retinal microvascular network and microcirculation assessments in high myopia[J]. *Am J Ophthalmol*, 2017, 174: 56-67.
- [22] ZHAO Z N, ZHOU X T, JIANG C H, et al. Effects of myopia on different areas and layers of the macula: a Fourier-domain optical coherence tomography study of a Chinese cohort[J]. *BMC Ophthalmol*, 2015, 15: 90.
- [23] JONAS R A, YAN Y N, ZHANG Q, et al. Elongation of the disc-fovea distance and retinal vessel straightening in high myopia in a 10-year follow-up of the Beijing eye study[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 9006.
- [24] ŽIVKOVIĆ M L J, LAZIĆ L, ZLATANOVIĆ M, et al. The influence of myopia on the foveal avascular zone and density of blood vessels of the macula: an OCTA study[J]. *Medicina*, 2023, 59(3): 452.
- [25] SUI J Y, LI H R, BAI Y, et al. Morphological characteristics of the foveal avascular zone in pathological myopia and its relationship with macular structure and microcirculation[J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2024, 262(7): 2121-2133.
- [26] LIU Y L, WANG L J, XU Y Y, et al. The influence of the choroid on the onset and development of myopia: from perspectives of choroidal thickness and blood flow[J]. *Acta Ophthalmol*, 2021, 99(7): 730-738.
- [27] QI J, LI H, DU Y, et al. Circulating autoantibody profiling identifies LIMS1 as a potential target for pathogenic autoimmunity in pathologic myopia[J]. *Mol Cell Proteomics*, 2024, 23(6): 100783.
- [28] 刘晓静, 吴峥峥, 邓铂林. 高度近视患者眼底改变的研究进展: 基于OCTA观察[J]. 眼科新进展, 2022, 42(2): 164-168.