

光学相干断层扫描血管成像技术评估青少年近视眼黄斑区视网膜血管密度及厚度变化



程 静¹, 王勤美², 马丽娜³

1. 温州医科大学附属眼视光医院斜弱视及小儿眼科 (浙江温州 325027)
2. 温州医科大学附属眼视光医院屈光手术中心 (浙江温州 325027)
3. 武汉爱尔眼科汉阳医院视光科 (武汉 430050)

【摘要】目的 采用光学相干断层扫描血管成像 (optical coherence tomography angiography, OCTA) 技术检测不同近视程度青少年黄斑区视网膜血管密度、厚度变化, 并分析其相关性。**方法** 选取 2019 年 6 月至 2022 年 6 月温州医科大学附属眼视光医院诊治的青少年近视眼患者 196 例 (392 眼)。根据等效球镜度 (spherical degree, SE) 分为轻度近视组 43 例、中度近视组 55 例、高度近视组 51 例、超高度近视组 47 例。采用 OCTA 技术测量四组患者的黄斑区视网膜浅层血管密度、厚度水平; 采用 Pearson 相关分析黄斑区视网膜血管密度与厚度的相关性; 采用线性回归分析黄斑区视网膜血管密度的相关影响因素。**结果** 四组 SE、眼轴长度比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 随近视程度增加, SE 逐渐降低, 眼轴长度逐渐增加 ($P < 0.05$)。四组黄斑区不同部位 (中心凹、中心凹旁、上侧、鼻侧、下侧、颞侧) 视网膜血管密度比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 随近视程度增加, 黄斑区不同部位视网膜血管密度均降低 ($P < 0.05$)。四组黄斑区不同部位 (中心凹、中心凹旁、上侧、鼻侧、下侧、颞侧) 视网膜厚度比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 随近视程度增加, 黄斑区不同部位视网膜厚度均降低 ($P < 0.05$)。Pearson 相关性分析显示, 黄斑区中心凹、中心凹旁视网膜血管密度与中心凹 ($r=0.464, 0.515$)、中心凹旁 ($r=0.312, 0.330$)、上侧 ($r=0.398, 0.422$)、鼻侧 ($r=0.391, 0.326$)、下侧 ($r=0.324, 0.273$)、颞侧 ($r=0.353, 0.428$) 厚度均呈正相关 ($P < 0.05$)。线性回归分析显示, 眼轴长度、SE 均负向影响黄斑区中心凹、中心凹旁视网膜血管密度 ($P < 0.05$)。**结论** 随着青少年近视程度增加, 其黄斑区视网膜血管密度、厚度均降低, 且黄斑区视网膜血管密度与厚度呈正相关, 与眼轴长度呈负相关。

【关键词】 近视; 青少年; 光学相干断层扫描血管成像技术; 黄斑区; 视网膜血管密度; 视网膜厚度

Evaluation of the changes of retinal vascular density and thickness in macular region of juvenile myopia with optical coherence tomography angiography

Jing CHENG¹, Qin-Mei WANG², Li-Na MA³

1. Department of Strabismus and Pediatric Ophthalmology, Eye Hospital, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, Zhejiang Province, China

2. Department of Refractive Operation, Eye Hospital, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, Zhejiang Province, China

DOI: 10.12173/j.issn.1004-4337.202303099

通信作者: 王勤美, 博士, 教授, 主任医师, 博士研究生导师, Email: wqm3@mail.eye.ac.cn

http://whuznmedj.com

3. Department of Ophthalmology, Hanyang Aier Eye Hospital, Wuhan 430050, China

Corresponding author: Qin-Mei WANG, Email: wqm3@mail.eye.ac.cn

【Abstract】Objective Using the optical coherence tomography angiography (OCTA) technology to detect the macular retinal blood vessel density and thickness levels and to analyze their correlation in myopic adolescents with different myopia degree. **Methods** A total of 196 adolescent myopia patients (392 eyes) diagnosed and treated in Eye Hospital, Wenzhou Medical University from June 2019 to June 2022 were selected. According to the equivalent spherical degree (SE), they were divided into mild myopia group (43 cases), moderate myopia group (55 cases), high myopia group (51 cases), and super high myopia group (47 cases). OCTA technology was used to quantitatively measure the retinal blood vessel density and thickness in the macular area of the four groups of patients; Pearson analysis was used to analyze the correlation between retinal vascular density and thickness in the macular area; linear regression analysis was used to investigate the relevant influencing factors of retinal vascular density in the macular area. **Results** There was a statistically significant difference in SE and axial length among the four groups ($P<0.05$). As the degree of myopia increased, SE gradually decreased and the length of the eye axis gradually increased ($P<0.05$). Comparison of the retinal blood vessel density in different parts of the macular area (fovea, parafovea, upper side, nasal side, inferior side, and temporal side) among the four groups, the difference was statistically significant ($P<0.05$). As the degree of myopia increased, and the retinal blood vessel density in different parts of the macular area decreased ($P<0.05$). Comparison of retinal thickness in different parts of the macular area (fovea, parafovea, upper side, nasal side, inferior side, and temporal side) among the four groups, the difference was statistically significant ($P<0.05$). As the degree of myopia increased, and the thickness of the retina in different parts of the macular area decreased ($P<0.05$). Pearson correlation analysis showed that the macular fovea, the retinal blood vessel density and the fovea adjacent to the fovea ($r=0.464, 0.515$), adjacent to the fovea ($r=0.312, 0.330$), upper side ($r=0.398, 0.422$), nasal side ($r=0.391, 0.326$), inferior side ($r=0.324, 0.273$), and temporal side ($r=0.353, 0.428$) were positively correlated ($P<0.05$). Linear regression analysis showed the axial length and SE had negative impact on retinal vascular density in the fovea and parafovea of the macular area ($P<0.05$). **Conclusion** As the degree of myopia in adolescents increased, the density and thickness of retinal blood vessels in the macular area decreased, and there was a positive correlation between the density and thickness of retinal blood vessels in the macular area, and negative correlation with axial length.

【Keywords】 Myopia; Adolescent; Optical coherence tomography angiography; Macular area; Retinal blood vessel density; Retinal thickness

一项调查报告显示,世界近视人数在 2050 年可达 47.58 亿^[1]。在生活方式逐渐转变背景下,近视发病率逐渐增高并趋于低龄化。研究显示,7 年级学生近视率达 67.4%,青少年近视率高达 80%^[2]。近视会造成视网膜出现退行性改变,如视盘萎缩、视网膜变薄等,近视进展会导致许多眼部并发症,进而引起黄斑发生病理性改

变,严重影响视觉功能,故评估黄斑区病变对临床早期诊治具有重要作用。有研究表明,近视患者眼部并发症与黄斑区视网膜血管存在联系^[3]。既往受检测手段限制,难以精确定量分析黄斑区视网膜形态及相关参数。光学相干断层扫描血管成像(optical coherence tomography angiography, OCTA)技术可通过分频谱振幅去相干血管成像法

在无创、无造影剂优势下检查眼底微循环,显示黄斑区视网膜血管形态,近年来在黄斑区血流形态^[4]、糖尿病视网膜病变^[5]、黄斑疾病^[6]等评估中应用广泛,且采用 OCTA 技术进行近视黄斑区血管参数的评估也逐渐兴起。本研究采用 OCTA 技术检测不同近视程度青少年黄斑区视网膜血管密度及厚度变化,并分析其相关性。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取 2019 年 6 月至 2022 年 6 月温州医科大学附属眼视光医院收治的青少年近视眼患者 196 例(392 眼)为研究对象。纳入标准:①年龄 6~18 岁;②双眼最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA) ≥ 1.0 ;③眼压 10~21 mmHg;④接受眼底检查、OCTA 检查。排除标准:①屈光介质混浊、眼底检查提示病理性变化(视网膜出血、黄斑裂孔等);②合并高血压、青光眼等干扰眼部血液循环的疾病;③伴活动性炎症、血液系统疾病、全身结缔组织病;④存在脉络膜、视神经病变;⑤有眼部外伤史、接受过眼部手术史;⑥入院检查前 1 个月内服用过影响血管功能的药物;⑦精神疾病、沟通障碍、检查依从性差。根据等效球镜度(spherical equivalent, SE)分为轻度近视组(≤ -3.0 D)、中度近视组(-3.0 D $<$ SE ≤ -6.0 D)、高度近视组(-6.0 D $<$ SE ≤ -8.75 D)、超高度

近视组(-8.75 D $<$ SE ≤ -9 D)。本研究患者和(或)家属均知情同意,研究经温州医科大学附属眼视光医院伦理委员会批准(2019125-K-101)。

1.2 方法

1.2.1 常规检查

所有研究对象均行常规检查:验光、测眼压(使用非接触式眼压计)、裂隙灯及检眼镜检查、测眼轴(IOL Master Carl Zeiss, Co, CA)。

1.2.2 光学相干断层扫描血管成像检查

受检者取坐位,将眼球调整至合适位置,使用德国 Carl Zeiss 公司 Cirrus HD-OCT 5000 型扫描仪进行 OCTA 检查,采集黄斑区微血管密度及视网膜厚度。设备频率 70 kHz (70 000 次/s),频宽 45 nm,波长 840 nm。选取黄斑区 3 mm \times 3 mm 范围,以黄斑中心凹为中心进行栅栏状扫描,图像分辨率为 304 \times 304 像素,各相扫描时间 2.9 s,运动校正技术去除运动伪迹,保存信号强度大于 7 的扫描图像。应用设备自带 AngioPlex Metrix 软件将图像划分为以黄斑中心凹为中心直径 1 mm 和中心凹旁直径 3 mm 的内外 2 个环,将内环和外环之间区域分为上、鼻、下、颞侧四个象限(图 1),软件量化分析各区域的视网膜浅层(视网膜内界膜到内丛状层)血管密度及视网膜厚度。血管密度根据该区域内血管面积占该区域面积的百分比计算。OCTA 检查及分析由同一名经验丰富的眼科医师完成。

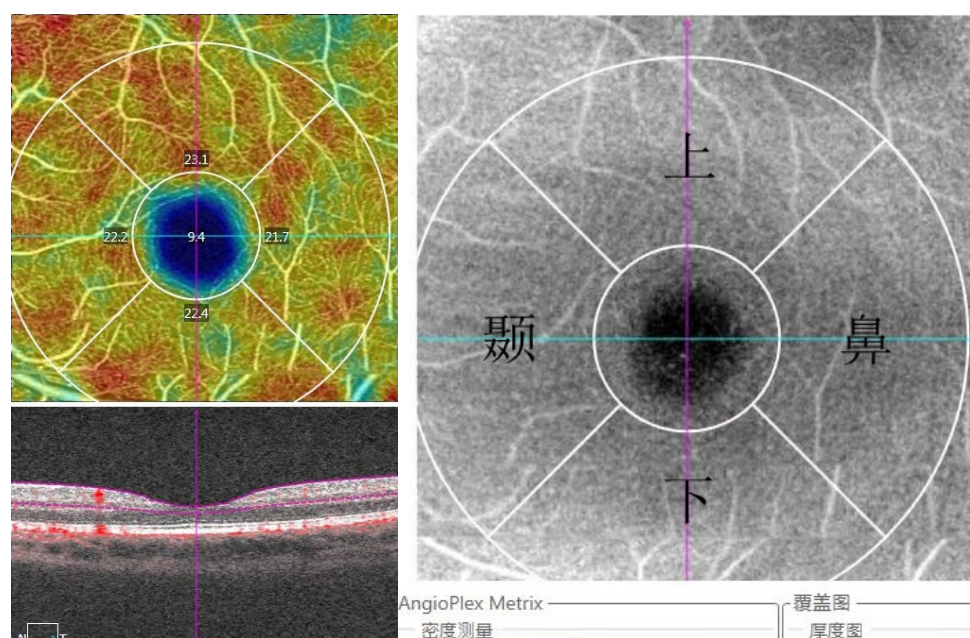


图1 OCTA黄斑区视网膜浅层微血管密度及分区

Figure 1. Superficial retinal microvascular density and zoning in the macular area of OCTA

1.3 统计分析

采用 SPSS 22.0 软件进行数据分析, 计数资料用频数和百分比 ($n, \%$) 表示, 行 χ^2 检验; 正态分布的计量资料用均数和标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 多组比较采用单因素方差分析、成对比较采用 LSD- t 检验; 采用 Pearson 相关分析黄斑区视网膜血管密度与厚度相关性; 采用线性回归分析黄斑区视网膜血管密度的相关影响因素。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

研究共纳入青少年近视眼患者 196 例 (392 眼), 轻度近视组 43 例、中度近视组 55 例、高

度近视组 51 例、超高度近视组 47 例。四组的性别构成 ($P=0.928$)、年龄 ($P=0.924$) 和眼内压 ($P=0.736$) 无明显差异, 见表 1。

2.2 四组眼轴长度、SE 比较

单因素方差分析显示, 四组 SE、眼轴长度比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.001$)。随近视程度增加, SE 逐渐降低, 眼轴长度逐渐增加, 各组两两相比差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 2。

2.3 四组黄斑区视网膜血管密度比较

四组黄斑区不同部位 (中心凹、中心凹旁、上侧、鼻侧、下侧、颞侧) 视网膜血管密度比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。随近视程度增加, 黄斑区不同部位视网膜血管密度均降低 ($P < 0.001$), 见表 3。

表1 四组一般资料比较

Table 1. Comparison of general information among four groups

项目	轻度近视 ($n=43$)	中度近视 ($n=55$)	高度近视 ($n=51$)	超高度近视 ($n=47$)	F/χ^2 值	P 值
性别 ($n, \%$)					0.460	0.928
男	19 (44.19)	26 (47.27)	25 (49.02)	24 (51.06)		
女	24 (55.81)	29 (52.73)	26 (50.98)	23 (48.94)		
年龄 (岁)	12.23 \pm 2.33	11.89 \pm 2.36	12.06 \pm 2.43	12.02 \pm 2.67	0.158	0.924
眼内压 (mmHg)	15.69 \pm 0.92	15.78 \pm 0.94	15.81 \pm 0.89	15.62 \pm 0.97	0.424	0.736

表2 四组眼轴长度、SE比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2. Comparison of axial length and SE among four groups ($\bar{x} \pm s$)

项目	轻度近视 ($n=43$)	中度近视 ($n=55$)	高度近视 ($n=51$)	超高度近视 ($n=47$)	F 值	P 值
SE (D)	-1.96 \pm 0.27	-4.63 \pm 0.38 ^①	-7.03 \pm 0.41 ^{①②}	-9.74 \pm 0.32 ^{①②③}	4 042.598	<0.001
眼轴长 (mm)	23.61 \pm 0.68	24.93 \pm 0.75 ^①	25.74 \pm 0.61 ^{①②}	26.82 \pm 0.52 ^{①②③}	196.974	<0.001

注: ①与轻度近视组比较, $P < 0.05$; ②与中度近视组比较, $P < 0.05$; ③与高度组近视比较, $P < 0.05$ 。

表3 四组黄斑区视网膜血管密度比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 3. Comparison of retinal vascular density in the macular area among four groups ($\bar{x} \pm s$)

部位	轻度近视 ($n=43$)	中度近视 ($n=55$)	高度近视 ($n=51$)	超高度近视 ($n=47$)	F 值	P 值
中心凹	30.28 \pm 3.16	28.27 \pm 2.92 ^①	26.41 \pm 3.05 ^{①②}	24.11 \pm 2.87 ^{①②③}	35.344	<0.001
中心凹旁	58.12 \pm 3.28	56.24 \pm 2.81 ^①	53.82 \pm 3.19 ^{①②}	51.38 \pm 3.26 ^{①②③}	40.301	<0.001
上侧	58.84 \pm 3.01	56.94 \pm 3.38 ^①	54.72 \pm 4.05 ^{①②}	52.08 \pm 3.76 ^{①②③}	30.329	<0.001
鼻侧	57.91 \pm 3.31	54.94 \pm 4.18 ^①	51.29 \pm 3.62 ^{①②}	48.70 \pm 4.13 ^{①②③}	50.748	<0.001
下侧	57.44 \pm 3.09	55.04 \pm 2.89 ^①	53.14 \pm 3.52 ^{①②}	50.19 \pm 2.86 ^{①②③}	44.606	<0.001
颞侧	57.19 \pm 3.51	55.40 \pm 3.69 ^①	53.23 \pm 3.92 ^{①②}	50.55 \pm 4.04 ^{①②③}	26.122	<0.001

注: ①与轻度近视组比较, $P < 0.05$; ②与中度近视组比较, $P < 0.05$; ③与高度组近视比较, $P < 0.05$ 。

2.4 四组黄斑区视网膜厚度比较

四组黄斑区不同部位(中心凹、中心凹旁、上侧、鼻侧、下侧、颞侧)视网膜厚度比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。随近视程度增加,黄斑区不同部位视网膜厚度均降低,各组两两相比差异有统计学意义($P < 0.05$),见表4。

2.5 黄斑区中心凹、中心凹旁视网膜血管密度与不同部位视网膜厚度的相关性

Pearson 相关性分析显示,黄斑区中心凹、中心凹旁视网膜血管密度与中心凹($r=0.464$ 、

0.515)、中心凹旁($r=0.312$ 、 0.330)、上侧($r=0.398$ 、 0.422)、鼻侧($r=0.391$ 、 0.326)、下侧($r=0.324$ 、 0.273)、颞侧($r=0.353$ 、 0.428)厚度均呈正相关($P < 0.001$),见表5。

2.6 黄斑区中心凹、中心凹旁视网膜血管密度相关影响因素的线性回归分析

线性回归分析显示,眼轴长度、SE均负向影响黄斑区中心凹、中心凹旁视网膜血管密度($P < 0.05$),见表6、表7。

表4 四组黄斑区视网膜厚度比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 4. Comparison of retinal thickness in the macular area among four groups ($\bar{x} \pm s$)

部位	轻度近视 (n=43)	中度近视 (n=55)	高度近视 (n=51)	超高度近视 (n=47)	F值	P值
中心凹	247.56 ± 11.35	237.04 ± 10.98 ^①	224.63 ± 13.12 ^{①②}	218.06 ± 12.33 ^{①②③}	55.049	<0.001
中心凹旁	320.98 ± 15.34	314.04 ± 13.98 ^①	305.71 ± 12.83 ^{①②}	296.34 ± 14.19 ^{①②③}	26.395	<0.001
上侧	329.99 ± 15.50	319.85 ± 16.28 ^①	310.45 ± 13.58 ^{①②}	301.28 ± 10.54 ^{①②③}	34.493	<0.001
鼻侧	331.46 ± 16.34	319.56 ± 15.48 ^①	309.45 ± 14.46 ^{①②}	303.08 ± 13.59 ^{①②③}	31.153	<0.001
下侧	326.51 ± 17.12	318.53 ± 16.96 ^①	306.67 ± 14.72 ^{①②}	297.81 ± 14.08 ^{①②③}	29.863	<0.001
颞侧	316.56 ± 14.23	302.69 ± 12.74 ^①	294.37 ± 15.34 ^{①②}	286.68 ± 11.98 ^{①②③}	39.739	<0.001

注: ①与轻度近视组比较, $P < 0.05$; ②与中度近视组比较, $P < 0.05$; ③与高度组近视比较, $P < 0.05$ 。

表5 黄斑区中心凹、中心凹旁视网膜血管密度与不同部位视网膜厚度的相关性

Table 5. Correlation between retinal vascular density and thickness in the fovea and parafovea of macular area

黄斑区视网膜血管密度	视网膜厚度						
	中心凹	中心凹旁	上侧	鼻侧	下侧	颞侧	
中心凹	r 值	0.464	0.312	0.398	0.391	0.324	0.353
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
中心凹旁	r 值	0.515	0.330	0.422	0.326	0.273	0.428
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表6 黄斑区中心凹视网膜血管密度的线性回归分析结果

Table 6. Linear regression analysis results of retinal vascular density in the fovea of the macular region

变量	B	SE	β	t值	P值	95%CI
(常量)	52.943	5.651		9.368	<0.001	41.796~64.09
眼轴长度	-1.026	0.221	-0.365	-4.647	<0.001	-1.462~-0.591
SE	-2.071	0.680	-0.239	-3.046	0.003	-3.413~-0.730
年龄	0.062	0.092	0.041	0.682	0.496	-0.118~0.243

表7 黄斑区中心凹旁视网膜血管密度的线性回归分析结果

Table 7. Linear regression analysis results of retinal vascular in the parafovea of the macular region

变量	B	SE	β	t值	P值	95%CI
(常量)	81.942	5.961		13.746	<0.001	70.184~93.700
眼轴长度	-1.090	0.233	-0.363	-4.680	<0.001	-1.550~-0.631
SE	-2.406	0.717	-0.260	-3.354	0.001	-3.821~-0.991
年龄	0.089	0.097	0.055	0.925	0.356	-0.101~0.280

3 讨论

既往研究表明,随着患者近视程度的增加,眼轴长度相应增加,尽管眼底没有严重的病理变化出现,但视网膜已发生了一定的改变^[7]。本研究中,随近视程度增高,患者眼轴长度逐渐增加,即轻度近视组<中度近视组<高度近视组<超高度近视组。相比大血管,眼部微血管更接近黄斑区中心凹。因此,在矫正视力同时需评估近视者的微血管状况。与荧光素眼底血管造影相比,OCTA 作为新型血管成像技术,具有无造影剂、无创、便捷的优势,且再现性、可重复性、三维可视化较好,故适用于青少年近视检查。OCTA 可有效减少伪影并自动分层视网膜,观察眼底微血管形态,定量分析获得黄斑区血流参数,评估视网膜结构变化,近年来在黄斑区血流改变评估中得到广泛应用^[8-9]。

Wu 等^[10]研究表明,在高度近视组中,与正视或低度近视相比,其视网膜血管密度和视网膜光敏度降低。本研究中,随着近视程度增加,黄斑区不同部位(中心凹、中心凹旁、上侧、鼻侧、下侧、颞侧)视网膜血管密度均降低;线性回归分析显示,SE 负向影响黄斑区中心凹、中心凹旁视网膜血管密度,提示近视程度与视网膜血管密度有关。随着近视程度增加,眼轴延长,会出现眼球组织机械牵拉,继而引起视网膜变薄、血管管径变小,血液循环减少,造成血管密度降低;同时视网膜血管几何特性发生变化(分支角变大、弯曲度变小等)也会引起血流灌注不足,造成视网膜缺血,使血管密度降低^[11-12]。刘玉婷等^[13]研究也发现,正视、低度近视、中度近视和高度近视患者黄斑区血管密度呈降低趋势。近视眼通常伴随眼球血管壁的病理改变,出现视网膜动脉平滑肌层逐渐薄化、动静脉局限性受损等表现,导致血管闭塞,血液灌注量下降,从而加重视网膜变薄变性、萎缩,形成恶性循环^[14]。但宋婷婷等^[15]研究显示,黄斑区微血管密度随近视程度增加而升高,研究差异考虑与近视病例年龄、个体差异、样本量差异等因素有关。郑淑月等^[16]研究显示,长眼轴组近视者浅层血流密度出现增加现象,但该血流密度的增加可能与维持正常视功能有关,且不同近视程度者可能存在差异。

刘帆等^[17]研究表明,视网膜厚度增加可增大

对氧供的需求,增加血流灌注,提高血管容量,从而影响视网膜微血管密度。本研究中,随着近视程度增加,黄斑区不同部位(中心凹、中心凹旁、上侧、鼻侧、下侧、颞侧)视网膜厚度均降低。分析认为,随近视程度加重,毛细血管通透性下降,影响血液循环,进而影响视网膜厚度,加之眼球随近视程度增加会出现机械力学拉长、巩膜拉伸等变化,视网膜受生物力学作用拉伸变薄、厚度降低^[18-19]。也有研究指出,内界膜与视网膜连接紧密,反向牵引可能会抵消巩膜对视网膜的牵拉力,反作用力相制衡可能使得中心凹视网膜厚度不会发生显著的改变,中心凹旁则因承受较大牵拉会发生明显变化^[20]。本研究中黄斑区中心凹视网膜厚度也发生明显变化,考虑与视网膜厚度代偿性增加/降低、近视群体差异、样本量差异等有关。曾俊等^[21]研究表明,青少年近视患者黄斑区中心凹视网膜厚度与年龄、视网膜微血管密度均呈正相关($r=0.187、0.691$)。孙沅等^[22]采用 OCTA 检测不同屈光人群的黄斑区视网膜密度及厚度,发现近视患者黄斑区中心凹及上方视网膜血管密度与视网膜厚度均呈正相关($r=0.632、0.532$)。本研究中,Pearson 相关性分析发现黄斑区中心凹、中心凹旁视网膜血管密度与中心凹、中心凹旁、上侧、鼻侧、下侧、颞侧厚度均呈正相关,与既往研究结果相似,提示青少年近视患者黄斑区视网膜血管密度与厚度呈正相关性改变。李惠等^[23]采用 OCTA 检测中青年近视患者视盘区血管密度变化,发现随着眼轴增加,近视患者视盘周围血管密度降低,视盘周围血管密度与眼轴长度呈负相关($r=-0.281$)。本研究回归分析显示,眼轴长度负向影响黄斑区中心凹、中心凹旁视网膜血管密度,与既往报道结果相似,提示眼轴长度与视网膜血管密度有关。分析认为,随着眼轴长度增加,脉络膜、巩膜、视网膜会出现伸展,造成视网膜变薄、脉络膜厚度减少等,导致需氧量减少、血液循环减少,进而使得血管密度降低。因此,通过 OCTA 技术检测黄斑区视网膜血管密度与厚度变化,可为青少年近视的评估与防治提供参考依据。

综上所述,随着青少年近视程度增加,其黄斑区视网膜血管密度、厚度均降低,且黄斑区视网膜血管密度与厚度呈正相关,与眼轴长度呈负相关,OCTA 技术有助于定量评估近视患者黄斑

区视网膜改变。但本研究为单中心研究、样本量较小,个体差异可能影响研究结果,因此,下一步还将收集更多样本进行多中心研究。

参考文献

- 1 Li S, Pan Y, Xu J, et al. Effects of physical exercise on macular vessel density and choroidal thickness in children[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 2015. DOI: [10.1038/s41598-021-81770-y](https://doi.org/10.1038/s41598-021-81770-y).
- 2 Wang Y, Ye J, Shen M, et al. Photoreceptor degeneration is correlated with the deterioration of macular retinal sensitivity in high myopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019, 60(8): 2800–2810. DOI: [10.1167/iovs.18-26085](https://doi.org/10.1167/iovs.18-26085).
- 3 Lee K, Maeng KJ, Kim JY, et al. Diagnostic ability of vessel density measured by spectral-domain optical coherence tomography angiography for glaucoma in patients with high myopia[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 3027. DOI: [10.1038/s41598-020-60051-0](https://doi.org/10.1038/s41598-020-60051-0).
- 4 陈钰虹, 项潇琼, 朱鸿, 等. 光学相干断层扫描血管成像技术评估孔源性视网膜脱离患者行玻璃体切割联合气体或硅油填充术后的黄斑区血流变化[J]. *上海交通大学学报(医学版)*, 2019, 39(6): 605–612. [Chen YH, Xiang XQ, Zhu H, et al. Macular blood flow changes assessed by optical coherence tomography angiography after pars plana vitrectomy with gas or silicone oil tamponade for the patients with rhegmatogenous retinal detachment[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Medical Science)*, 2019, 39(6): 605–612.] DOI: [10.3969/j.issn.1674-8115.2019.06.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8115.2019.06.008).
- 5 宋文秋, 胡欣欣, 陆勤康. OCTA 应用于糖尿病视网膜病变的研究进展[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2021, 23(9): 715–720. [Song WQ, Hu XX, Lu QK. An update on application of optical coherence tomography angiography in diabetic retinopathy[J]. *Chinese Journal of Optometry Ophthalmology and Visual Science*, 2021, 23(9): 715–720.] DOI: [10.3760/cma.j.cn115909-20201213-00479](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn115909-20201213-00479).
- 6 吕湘云, 艾明. 光学相干断层扫描血管成像(OCTA)在黄斑疾病中的应用进展[J]. *眼科新进展*, 2019, 39(1): 94–97. [Lyu XY, Ai M. Research advance in clinical application of optical co-herence tomography angiography in macular diseases[J]. *Recent Advances in Ophthalmology*, 2019, 39(1): 94–97.] DOI: [10.13389/j.cnki.rao.2019.0022](https://doi.org/10.13389/j.cnki.rao.2019.0022).
- 7 Liu WQ, Wang DD, Yang XX, et al. Topographic distribution features of the choroidal and retinal nerve fiber layer thickness in Chinese school-aged children[J]. *Int J Ophthalmol*, 2020, 13(9): 1459–1466. DOI: [10.18240/ijo.2020.09.19](https://doi.org/10.18240/ijo.2020.09.19).
- 8 王林妮, 于荣国, 杨锦, 等. 视网膜分支静脉阻塞黄斑水肿程度对黄斑中心凹无血管区量化分析的影响[J]. *中华眼底病杂志*, 2019, 35(1): 20–24. [Wang LN, Yu RG, Yang J, et al. The effect of macular edema on quantitative analysis of foveal avascular zone in branch retinal vein occlusion eyes[J]. *Chinese Journal of Ocular Fundus Diseases*, 2019, 35(1): 20–24.] DOI: [10.3760/cma.j.issn.1005-1015.2019.01.005](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1005-1015.2019.01.005).
- 9 Hong EH, Cho H, Kim DR, et al. Changes in retinal vessel and retinal layer thickness after vitrectomy in retinal detachment via swept-source OCT angiography[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(2): 35. DOI: [10.1167/iovs.61.2.35](https://doi.org/10.1167/iovs.61.2.35).
- 10 Wu Q, Chen Q, Lin B, et al. Relationships among retinal/choroidal thickness, retinal microvascular network and visual field in high myopia[J]. *Acta Ophthalmol*, 2020, 98(6): e709–e714. DOI: [10.1111/aos.14372](https://doi.org/10.1111/aos.14372).
- 11 Guo Y, Pang Y, Kang Y, et al. Correlations among peripapillary vasculature, macular superficial capillaries, and eye structure in healthy and myopic eyes of Chinese young adults (STROBE)[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(37): e22171. DOI: [10.1097/MD.00000000000022171](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000022171).
- 12 张丹凤, 蔡劲锋, 王平, 等. 基于 OCTA 的青少年近视患者黄斑区视网膜脉络膜血管特点观察[J]. *中国斜视与小兒眼科杂志*, 2020, 28(3): 1–4. [Zhang DF, Cai JF, Wang P, et al. The research of vascular density and thickness of macular retina and choroid in myopic juveniles[J]. *Chinese Journal of Strabismus & Pediatric Ophthalmology*, 2020, 28(3): 1–4.] DOI: [10.3969/J.ISSN.1005-328X.2020.03.001](https://doi.org/10.3969/J.ISSN.1005-328X.2020.03.001).
- 13 刘玉婷, 雷颖庆, 田敏, 等. 不同屈光度近视青少年儿童黄斑区血管密度和视网膜厚度的比较[J]. *国际眼科杂志*, 2021, 21(5): 789–795. [Liu YT, Lei YQ, Tian M, et al. Comparison of macular vascular density and retinal thickness in children with different degrees of myopia[J]. *International Eye Science*, 2021, 21(5): 789–795.] DOI: [10.3980/j.issn.1672-5123.2021.5.08](https://doi.org/10.3980/j.issn.1672-5123.2021.5.08).
- 14 王雪晴, 夏丽坤. OCTA 测量近视人群视网膜血管密

- 度及中心凹无血管区的研究进展[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2021, 23(2): 150–155. [Wang XQ, Xia LK. Advances in OCTA measurement of retinal vascular density and the foveal avascular zone in myopia[J]. Chinese Journal of Optometry Ophthalmology and Visual Science, 2021, 23(2): 150–155.] DOI: [10.3760/cma.j.cn115909-20191219-00335](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn115909-20191219-00335).
- 15 宋婷婷, 齐雪. 光学相干断层扫描分析对青少年近视眼的黄斑区视网膜血管密度及厚度价值的研究[J]. 生命科学仪器, 2019, 18(2): 59–63. [Song TT, Qi X. Study on the value of optical coherence tomography analysis for macular retinal vascular density and thickness in adolescent myopia[J]. Life Science Instruments, 2019, 18(2): 59–63.] DOI: [10.11967/2019170410](https://doi.org/10.11967/2019170410).
- 16 郑淑月, 税荔, 唐冲, 等. 高度近视人群的黄斑区视网膜血管密度及厚度分析[J]. 陆军军医大学学报, 2022, 44(10): 1067–1073. [Zheng SY, Shui L, Tang C, et al. Macular retinal vascular density and thickness in high myopia patients[J]. Journal of Army Medical University, 2022, 44(10): 1067–1073.] DOI: [10.16016/j.2097-0927.202111051](https://doi.org/10.16016/j.2097-0927.202111051).
- 17 刘帆, 李宁, 唐丽成, 等. 不同程度近视脉络膜、视网膜黄斑区微循环和视敏度观察及其相关性研究[J]. 中华眼底病杂志, 2020, 36(12): 929–935. [Liu F, Li N, Tang LC, et al. Observation of microcirculation and light sensitivity in the macular region of choroid and retina with different degrees of myopia[J]. Chinese Journal of Ocular Fundus Diseases, 2020, 36(12): 929–935.] DOI: [10.3760/cma.j.cn511434-20201119-00566](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn511434-20201119-00566).
- 18 石婕, 宋志杰, 李宁, 等. 高度近视及不同屈光度近视患者视网膜黄斑区微循环及视功能的相关性[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2020, 22(6): 407–414. [Shi J, Song ZJ, Li N, et al. Correlation between microcirculation and visual function in the macular region of the retina in patients with different degrees of myopia[J]. Chinese Journal of Optometry Ophthalmology and Visual Science, 2020, 22(6): 407–414.] DOI: [10.3760/cma.j.cn115909-20190920-00258](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn115909-20190920-00258).
- 19 Li Z, Xu Z, Liu Q, et al. Comparisons of retinal vessel density and glaucomatous parameters in optical coherence tomography angiography[J]. PLoS One, 2020, 15(6): e0234816. DOI: [10.1371/journal.pone.0234816](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234816).
- 20 李娜, 齐艳华. 利用 OCTA 评估屈光不正对学龄儿童黄斑区血流及视网膜厚度的影响[J]. 国际眼科杂志, 2020, 20(8): 1439–1442. [Li N, Qi YH. Effects of refractive errors on macular blood flow and retinal thickness in school-age children assessed by OCTA[J]. International Eye Science, 2020, 20(8): 1439–1442.] DOI: [10.3980/j.issn.1672-5123.2020.8.31](https://doi.org/10.3980/j.issn.1672-5123.2020.8.31).
- 21 曾俊, 刘陇黔. OCTA 对青少年近视人群视网膜微血管密度的观察[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2020, 22(5): 354–359. [Zeng J, Liu LQ. Retinal vessel density in adolescent myopia based on OCTA: an observational study[J]. Chinese Journal of Optometry Ophthalmology and Visual Science, 2020, 22(5): 354–359.] DOI: [10.3760/cma.j.cn115909-20200121-00018](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn115909-20200121-00018).
- 22 孙沅, 王健, 孙沂, 等. OCTA 用于检测不同屈光人群的黄斑区视网膜密度和厚度及其相关性分析[J]. 现代生物医学进展, 2019, 19(14): 2797–2800. [Sun Y, Wang J, Sun Y, et al. Detection and correlative analysis of the retinal density and thickness in the macular area in patients with different refractive light[J]. Progress in Modern Biomedicine, 2019, 19(14): 2797–2800.] DOI: [10.13241/j.cnki.pmb.2019.14.043](https://doi.org/10.13241/j.cnki.pmb.2019.14.043).
- 23 李惠, 孙功勋, 张雷, 等. 光学相干断层扫描血管成像技术对中青年近视患者视盘区血管密度的观察[J]. 皖南医学院学报, 2021, 40(5): 451–454. [Li H, Sun GX, Zhang L, et al. Optical coherence tomography angiography in detection of vascular density in optic disc in young-middle aged patients with myopia[J]. Acta Academiae Medicinae Wannan, 2021, 40(5): 451–454.] DOI: [10.3969/j.issn.1002-0217.2021.05.012](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0217.2021.05.012).

收稿日期: 2023 年 03 月 14 日 修回日期: 2023 年 05 月 05 日
 本文编辑: 李 阳 黄 笛

引用本文: 程静, 王勤美, 马丽娜, 等. 光学相干断层扫描血管成像技术评估青少年近视眼黄斑区视网膜血管密度及厚度变化[J]. 数理医药学杂志, 2023, 36(7): 497–504. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202303099](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-4337.202303099)
 Cheng J, Wang QM, Ma LN, et al. Evaluation of the changes of retinal vascular density and thickness in macular region of juvenile myopia with optical coherence tomography angiography[J]. Journal of Mathematical Medicine, 2023, 36(7): 497–504. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202303099](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-4337.202303099)