DOI:10.16016/j.2097-0927.202111051

# 高度近视人群的黄斑区视网膜血管密度及厚度分析

郑淑月,税 荔,唐 冲,李 琦 400016 重庆,重庆医科大学附属第一医院眼科

[摘要] **目的** 应用光学相干断层扫描血管成像技术(optical coherence tomography angiography, OCTA)检测高度近视人群的黄斑区视网膜血管密度(vascular density, VD)及厚度(retinal thickness, RT),并分析其相关性。**方法** 纳入2020年9月至2021年9月于本院眼科门诊就诊的18~40岁近视患者共110例(110眼),根据等效球镜度(spherical equivalent refraction, SER)将其分为高度近视组(SER<-6.00 D)57眼、对照组(-6.00~-0.50 D)53眼。对所有受检者进行OCTA检查,量化黄斑区各部位视网膜厚度及表层微血管密度,比较对照组及高度近视组各部位视网膜微血管密度及视网膜厚度的差异,并进行相关性分析。**结果** 高度近视组黄斑区内环范围内血管长度密度(vascular length density, VLD)、血管灌注密度(vascular perfusion density,VPD)较对照组有所下降($P<0.05$),外环VLD、VPD无明显变化;黄斑中心凹无血管区(foveal avascular zone, FAZ)的相关指标包括面积、周长、充实度两组间差异均无统计学意义;与对照组相比,高度近视组黄斑区中心凹及外环上方RT有所减少($P<0.05$),内环RT两组间无明显差异。相关性分析表明,黄斑各分区VLD和VPD均呈正相关($P<0.05$);黄斑中心凹及外环各象限的VLD、VPD与对应区域RT呈正相关($P<0.05$),内环各象限VLD、VPD与RT无明显相关性;内环部分象限及外环整体RT与SER呈正相关($P<0.05$),与眼轴(axial length, AL)呈负相关($P<0.05$);黄斑区VLD、VPD与SER呈正相关,与AL呈负相关($P<0.05$)。**结论** 黄斑各区视网膜厚度及血管密度随近视程度增加而减少,早期应用OCTA检测近视人群视网膜结构和血流循环的变化,有利于评估和监测近视进展。

[关键词] 高度近视;黄斑区视网膜血管密度;黄斑区视网膜厚度
[中图法分类号] R195.4; R339.146; R778.11 [文献标志码] A

# Macular retinal vascular density and thickness in high myopia patients

ZHENG Shuyue, SHUI Li, TANG Chong, LI Qi Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing, 400016, China

[**Abstract**] **Objective** To measure the macular vascular density (VD) and retinal thickness (RT) of highly myopic patients by optical coherence tomography angiography (OCTA) and analyze their correlation. **Methods** A total of 110 myopia patients (110 eyes) aged 18~40 years who attended the Ophthalmology Clinic of the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University from September 2020 to September 2021 were included. According to spherical equivalent refraction (SER), they were divided into high myopia (HM) group (SER<-6.00 D, 57 eyes) and control group (-6.00~-0.50 D, 53 eyes). OCTA was performed on all subjects to quantify the retinal thickness and superficial vessel density. The differences in VD and RT were compared between the control group and HM group, and correlation analysis was carried out. **Results** In general, the vascular length density (VLD) and vascular perfusion density (VPD) in the inner ring were significantly lower in the HM group than the control group ($P<0.05$). The perifoveal VLD and VPD had no significant changes. There was no statistically significant difference in the characteristics of foveal avascular zone (FAZ) including area, perimeter and circularity between the 2 groups ($P<0.05$). The RT of

[通信作者] 李 琦,E-mail: 1986572259@qq.com

2097-0927/Copyright © 2022, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

the macular fovea and perifoveal's superior side of the macular area was decreased in the HM group than the control group ($P<0.05$), and there were no significant differences in the thickness of the parafoveal quadrants between the 2 groups. Correlation analysis showed that the VLD and VPD of each subzone of the macula were positively correlated ($P<0.05$). The VLD and VPD of the fovea and the perifoveal quadrants were positively correlated with the RT of the corresponding area ($P<0.05$), while the VLD and VPD of the inner ring had no significant correlation with the RT. RT of partial quadrants of the inner ring and the overall outer ring were positively correlated with SER ($P<0.05$), and negatively correlated with axial length (AL) ($P<0.05$). VLD and VPD were roughly positively correlated with SER and negatively correlated with AL ($P<0.05$). **Conclusion** RT and VD in macular area are decreased with increased myopia. Early application of OCTA to detect the changes of retinal structure and blood flow circulation in myopic population is helpful for evaluating and monitoring the progress of myopia.

[**Key words**] high myopia; macular retinal vascular density; macular retinal thickness

Corresponding author: LI Qi, E-mail: 1986572259@qq.com

近视是最常见的屈光不正。一项研究推测,到21世纪中期全世界近视的人群将会达47.58亿人[1]。随近视程度增加,可引起如视网膜脱离、黄斑裂孔、黄斑劈裂、视网膜脉络膜萎缩、脉络膜新生血管等一系列严重影响视功能的并发症[2],致盲隐忧不容忽视。有研究表明,近视眼的视网膜退行性改变与视网膜血管变化和血流减少有关[3-4]。因此,对近视程度与视网膜结构及血管之间的关系进行分析,有助于进一步探究近视的病理生理过程,为临床诊疗提供依据。近年来,光学相干断层扫描血管成像技术(optical coherence tomography angiography, OCTA)因其无创、快速、重复性好、可定量等优势,应用逐渐趋于广泛。本研究应用OCTA,研究高度近视患者浅层黄斑区视网膜血管密度及厚度的分布特征,并分析等效球镜、眼轴长度、黄斑区视网膜血管密度以及视网膜厚度之间的相关性,以期为近视发展机制的研究及有效防控提供更多依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

选取2020年9月至2021年9月在本院眼科门诊就诊的近视患者110例(110眼)纳入研究,并按照不同等效球镜度(spherical equivalent refraction,SER)分为对照组(-6.00~-0.50 D,53眼)、高度近视组(<-6.00 D,57眼)。纳入标准:①年龄18~40岁;②最佳矫正视力(best corrected visual acuity,BCVA)≥1.0;③固视功能良好;④双眼屈光参差不超过2.5 D;⑤眼压正常(10~21 mmHg);⑥屈光介质清楚;⑦眼底检查和光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)检查正常;⑧OCTA图像信号强度大于6。排除标准:①患有影响眼部血液循环的眼部疾病,如糖尿病、高血压、青光眼等;②眼部有活动性炎症;③患有全身结缔组织病,如风湿类疾病等;④近2周有使用具有影响血管功能药物者;⑤眼底检查出现病理性的改变(包括黄斑裂孔、黄斑区新生血管、视网膜裂孔和视网膜出血等);⑥眼部外伤史及手术史;⑦不能配合检查者。

### 1.2 研究方法

所有受试者接受最佳矫正视力及验光、裂隙灯检查、眼压检查(非接触眼压计)、散瞳后的裂隙灯眼底检查、眼轴长度(IOL Master)等检查。所有研究对象的OCTA(德国蔡司公司CIRRUS HD-OCT 9.5版本)检查都由同一名经验丰富的操作医师完成,检查模式为Angiography 6 mm×6 mm范围,并开启眼球运动追踪模式进行扫描。使用系统自带软件分析黄斑中心凹处视网膜内界膜(inner limiting membrane, ILM)到色素上皮层(retinal pigment epithelium, RPE)的视网膜全层厚度,单位为μm;将表层视网膜血管成像图进行分区:划分以黄斑中心凹为中心,直径1、3、6 mm的3个同心圆,将3个圆环定义为:中心凹(fovea)、内环(parafovea)、外环(perifovea),每个圆环被进一步划分为上(superior,S)、鼻(nasal,N)、下(inferior,I)、颞(temporal,T)4个象限,共9个区域。应用系统自带软件量化分析中心凹、内环、外环的视网膜浅层微血管长度密度(vascular length density,VLD)、浅层微血管灌注密度(vascular perfusion density,VPD)、黄斑中心凹无血管区(foveal acascular zone,FAZ)以及9个区域视网膜厚度。纳入患者及家属均签署知情同意,且研究经本院伦理委员会审核批准(2021-447)。

### 1.3 统计学分析

采用IBM SPSS 23.0软件进行分析,数据以$\bar{x}\pm s$表示。组间比较根据是否服从正态分布采用独立样本$t$检验和秩和检验,各变量间的相关性采用Spearman相关性分析。$P<0.05$为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般资料

两组间年龄、性别差异无统计学意义,等效球镜度及眼轴差异有统计学意义($P<0.01$),见表1。

**表1 患者一般资料及相关参数比较**

| 组别 | 样本量/例 | 性别(女/男) | 年龄/岁 | 等效球镜度/D | 眼轴/mm |
|---|---|---|---|---|---|
| 高度近视组 | 57 | 29/28 | 25.96±6.81 | -8.69±1.64 | 27.05±1.24 |
| 对照组 | 53 | 26/27 | 26.75±4.52 | -4.52±1.50 | 25.49±1.05 |
| $P$值 | - | 0.100 | 0.058 | <0.001 | <0.001 |

### 2.2 两组黄斑区浅层血管密度及黄斑中心凹无血管区对比

与对照组相比,高度近视组黄斑区内环下方及外环下方浅层VLD低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$),在黄斑区内环鼻侧、下方、颞侧,高度近视组VPD低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$),其余范围内的VLD及VPD两组差异均无统计学意义;两组间黄斑中心凹无血管区特征包括面积、周长、充实度差异均无统计学意义,见表2。

**表2 两组间各区血管密度及黄斑中心凹无血管区对比($\bar{x}\pm s$)**

| 部位 | 高度近视组($n=57$) | 对照组($n=53$) | $F$值 | $P$值 |
|---|---|---|---|---|
| VLD/mm$^{-1}$ | | | | |
| 中心凹 | 8.94±2.70 | 9.14±3.14 | 1.187 | 0.719 |
| 上方(内环) | 18.19±1.76 | 18.50±1.35 | 2.129 | 0.312 |
| 鼻侧(内环) | 17.54±2.70 | 18.42±1.46 | 7.158 | 0.083 |
| 下方(内环) | 16.90±2.54 | 17.96±1.46 | 9.616 | 0.023 |
| 颞侧(内环) | 17.14±2.24 | 17.99±1.53 | 7.728 | 0.076 |
| 上方(外环) | 18.51±1.71 | 18.94±1.21 | 1.178 | 0.129 |
| 鼻侧(外环) | 19.81±1.66 | 20.25±0.75 | 13.589 | 0.808 |
| 下方(外环) | 17.64±1.89 | 18.31±1.54 | 3.246 | 0.044 |
| 颞侧(外环) | 16.25±2.42 | 17.10±2.09 | 1.683 | 0.052 |
| VPD | | | | |
| 中心凹 | 0.196±0.062 | 0.203±0.075 | 1.729 | 0.591 |
| 上方(内环) | 0.434±0.044 | 0.447±0.039 | 0.601 | 0.109 |
| 鼻侧(内环) | 0.406±0.068 | 0.434±0.041 | 6.204 | 0.016 |
| 下方(内环) | 0.402±0.060 | 0.434±0.041 | 4.989 | 0.002 |
| 颞侧(内环) | 0.403±0.056 | 0.426±0.043 | 3.902 | 0.014 |
| 上方(外环) | 0.455±0.047 | 0.468±0.034 | 2.601 | 0.096 |
| 鼻侧(外环) | 0.481±0.054 | 0.497±0.021 | 14.611 | 0.669 |
| 下方(外环) | 0.435±0.051 | 0.451±0.038 | 4.988 | 0.063 |
| 颞侧(外环) | 0.399±0.063 | 0.418±0.055 | 1.431 | 0.089 |
| FAZ | | | | |
| 面积/mm$^2$ | 0.27±0.18 | 0.28±0.12 | 0.072 | 0.856 |
| 周长/mm | 2.15±0.83 | 2.10±0.53 | 0.014 | 0.716 |
| 充实度 | 0.70±0.14 | 0.74±0.10 | 0.094 | 0.086 |

### 2.3 两组黄斑区视网膜厚度比较

两组间黄斑区中心凹及外环上方视网膜厚度差异有统计学意义($P<0.05$),其余各区视网膜厚度差异无统计学意义,见表3。

**表3 两组间各区视网膜厚度比较(μm, $\bar{x}\pm s$)**

| 部位 | 高度近视组($n=57$) | 对照组($n=53$) | $F$值 | $P$值 |
|---|---|---|---|---|
| 中心凹 | 257.39±28.97 | 247.45±20.08 | 1.670 | 0.040 |
| 上方(内环) | 317.21±14.34 | 319.60±20.12 | 8.741 | 0.964 |
| 鼻侧(内环) | 319.11±14.79 | 320.74±20.40 | 9.423 | 0.872 |
| 下方(内环) | 312.33±21.45 | 313.40±16.44 | 0.001 | 0.772 |
| 颞侧(内环) | 305.89±17.59 | 305.51±18.50 | 3.805 | 0.911 |
| 上方(外环) | 272.14±14.88 | 280.17±15.65 | 0.277 | 0.007 |
| 鼻侧(外环) | 294.33±17.66 | 298.55±15.53 | 1.665 | 0.188 |
| 下方(外环) | 260.07±17.01 | 262.06±13.44 | 2.592 | 0.500 |
| 颞侧(外环) | 253.25±15.07 | 257.38±12.87 | 1.153 | 0.126 |

### 2.4 各变量间相关性分析

2.4.1 黄斑区血管密度与视网膜厚度相关性 黄斑各区VLD和VPD均呈正相关($P<0.05$)。除内环鼻侧、下方、颞侧浅层VLD,其余各区的VLD与对应视网膜厚度呈正相关($P<0.05$);黄斑中心凹、外环各象限的VPD与对应区域视网膜厚度呈正相关($P<0.05$),内环各象限VPD与视网膜厚度无明显相关性。见表4。

2.4.2 黄斑区视网膜厚度与SER、眼轴(axial lengths, AL)相关性 AL与SER呈正相关($P<0.001$)。内环下方、外环各象限的视网膜厚度与SER呈正相关($P<0.05$),内环上方、下方及外环各象限视网膜厚度与AL呈负相关($P<0.05$),其余各区视网膜厚度与SER、AL无明显相关性。见表4。

2.4.3 黄斑区血管密度与SER、AL相关性 除黄斑区中心凹、内环上方、外环鼻侧VLD与SER无明显相关性外,其余各区VLD与SER呈正相关;黄斑区内环各象限及外环上方、鼻侧、下方VLD与AL呈负相关,黄斑区中心凹及外环颞侧VLD与AL无明显相关性;除黄斑区中心凹VPD与SER无明显相关性外,其余各区VPD与SER呈正相关;黄斑区各区VPD均与AL呈负相关($P<0.05$)。见表5、6。

2.4.4 黄斑区厚度及血管密度与年龄相关性 年龄与黄斑区内环上方及外环上方VLD呈负相关($r=-0.220$, $P=0.021$; $r=-0.212$, $P=0.026$),与外环上方VPD呈负相关($r=-0.247$, $P=0.009$)。年龄与黄斑区各部位视网膜厚度均无明显相关性。

**表 4 黄斑区各部位视网膜厚度与血管密度及眼轴、等效球镜度之间相关性**

| 视网膜厚度 | 浅层 VLD | | 浅层 VPD | | SER | | AL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *r* 值 | *P* 值 | *r* 值 | *P* 值 | *r* 值 | *P* 值 | *r* 值 | *P* 值 |
| 中心凹 | 0.397 | <0.001 | 0.356 | <0.001 | 0.077 | 0.423 | 0.101 | 0.293 |
| 上方(内环) | 0.192 | 0.044 | 0.179 | 0.061 | 0.188 | 0.050 | −0.201 | 0.036 |
| 鼻侧(内环) | 0.136 | 0.157 | 0.151 | 0.115 | 0.141 | 0.142 | −0.124 | 0.197 |
| 下方(内环) | 0.091 | 0.342 | 0.071 | 0.459 | 0.230 | 0.016 | −0.203 | 0.033 |
| 颞侧(内环) | 0.156 | 0.103 | 0.077 | 0.424 | 0.134 | 0.164 | −0.122 | 0.204 |
| 上方(外环) | 0.428 | <0.001 | 0.480 | <0.001 | 0.402 | <0.001 | −0.472 | <0.001 |
| 鼻侧(外环) | 0.200 | 0.037 | 0.314 | 0.001 | 0.265 | 0.005 | −0.384 | <0.001 |
| 下方(外环) | 0.209 | 0.028 | 0.251 | 0.008 | 0.232 | 0.015 | −0.405 | <0.001 |
| 颞侧(外环) | 0.279 | 0.003 | 0.232 | 0.015 | 0.326 | 0.001 | −0.366 | <0.001 |

**表 5 黄斑区血管长度密度与眼轴、等效球镜度之间相关性**

| 变量 | | 中心凹 | 内环上方 | 内环鼻侧 | 内环下方 | 内环颞侧 | 外环上方 | 外环鼻侧 | 外环下方 | 外环颞侧 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SER | *r* 值 | 0.077 | 0.107 | 0.263 | 0.241 | 0.223 | 0.253 | 0.146 | 0.210 | 0.197 |
| | *P* 值 | 0.423 | 0.264 | 0.005 | 0.011 | 0.019 | 0.008 | 0.127 | 0.028 | 0.039 |
| AL | *r* 值 | −0.169 | −0.193 | −0.448 | −0.283 | −0.191 | −0.361 | −0.223 | −0.226 | −0.144 |
| | *P* 值 | 0.078 | 0.043 | <0.001 | 0.003 | 0.045 | <0.001 | 0.019 | 0.018 | 0.134 |

**表 6 黄斑区血管灌注密度与眼轴、等效球镜度之间相关性**

| 变量 | | 中心凹 | 内环上方 | 内环鼻侧 | 内环下方 | 内环颞侧 | 外环上方 | 外环鼻侧 | 外环下方 | 外环颞侧 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SER | *r* 值 | 0.101 | 0.199 | 0.306 | 0.296 | 0.240 | 0.224 | 0.174 | 0.180 | 0.189 |
| | *P* 值 | 0.293 | 0.038 | 0.001 | 0.002 | 0.012 | 0.018 | 0.069 | 0.060 | 0.048 |
| AL | *r* 值 | −0.192 | −0.337 | −0.476 | −0.345 | −0.260 | −0.399 | −0.310 | −0.282 | −0.192 |
| | *P* 值 | 0.045 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.006 | <0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.044 |

## 3 讨论

研究表明,随着近视程度加重、眼轴增长,在出现病理性改变之前,视网膜结构和功能已经发生了变化[5-6]。屈光矫正手术能够改善视力,却不能逆转高度近视带来的眼底改变[7],近视人群发生脉络膜新生血管、视网膜脱离、近视性黄斑变性和脉络膜视网膜萎缩等并发症的风险仍高于正常人群。黄斑区是视网膜视觉最敏锐的区域,有研究表明,视网膜组织变薄和血液循环不良可能导致高度近视病理性改变[1,8],因此对尚未发现明显病理性改变的近视人群的黄斑区视网膜进行循环功能及结构的研究,有利于评估和监测近视进展,预防高度近视并发症的发生,并指导早期做出干预。OCTA 能够详尽地呈现视网膜结构并量化视网膜血流情况,可作为评估黄斑区血流及视网膜厚度的有效手段。

目前,对近视患者视网膜微循环的研究仍存在一定争议。一部分学者认为,在非病理性高度近视人群中,黄斑区的血管密度呈下降趋势[9-10],而另一些研究表明,高度近视患者黄斑区视网膜血流密度并没有随近视程度增加而有明显变化[11-12]。本研究将黄斑区分为了 9 个亚区来进一步分析,VLD 是区域内的血管线性长度与面积的比值,反映血管数量;而 VPD 是血管管径面积与区域面积的比值,反映血管内灌注量,两者共同反映黄斑区血流密度。结果显示,黄斑区各亚区的浅层血流密度不均,且各区的 VLD 与 VPD 之间基本呈正相关,具有相对一致性,这与田春柳等[13]的研究结论一致。本研究发现,与对照组相比,高度近视组黄斑区浅层血管密度有所下降,且主要在内环,与刘玉婷等[14]在以青少年儿童近视人群为研究对象的研究结果一致。需要注意的是,本研究中高度近视组 VPD 在内环多个象限均减少,而 VLD 主要在下方象限降低,提示血管内血流灌注较血管数量更易受到近视程度影响,近视程度增加、眼轴增长,引起血管受压,血管内血流灌注下降,而后才引起血管数量减少。对 VLD 及 VPD 在高度近视中的敏感性比较,后期还需更大样本的研究明确。与刘玉婷等[14]的研究结论完全相反,YANG 等[12]研究发现近视程度不影响年轻健康成人的黄斑区血管密度,提示年龄因素可能是引起结论不一致的原因之一。田春柳等[13]研究显示年龄与黄斑区浅层 VLD、VPD 呈负相关,即随年龄增加,VLD、VPD 减少;也有研究提示年龄与 VD 呈负相关[15-16]。

本研究结果显示,年龄与黄斑区内环上方及外环上方VLD呈负相关,与外环上方VPD呈负相关,提示年龄与VD有一定相关性。因此,设立年龄亚组,进行更大样本的研究很有必要。另外,谭亮章等[17]的研究发现,近视人群中长眼轴组比起短眼轴组黄斑区浅层血流密度有所增加,鉴于浅层血管主要供应的是视网膜内核层、神经节细胞层及神经纤维层[18],增加的血流密度可能与维持长眼轴眼的正常视功能有关。但其研究纳入研究对象的等效球镜度为0.5~6.0 D,均为低中度近视患者,在更高程度近视的人群中这一结论可能并不适用。

在本研究中,两组间黄斑中心凹无血管区面积、周长、充实度无明显差异,与文献[6,13]研究结论相一致。既往研究发现,高度近视组比起低中度近视组患者FAZ面积有所减少[19-20]。廖燕红等[21]研究却得出相反的结果,可能是因为其研究纳入了更高度数近视(等效球镜度<-10 D)的人群。这类研究对象可能已经出现后巩膜葡萄肿等改变,眼轴增长、黄斑区眼球壁扩张,机械地拉伸了视网膜及脉络膜,从而导致FAZ面积扩大,血流减少。值得注意的是,GUO等[22]的研究显示,在FAZ面积无显著差异的情况下,高度近视组的FAZ周长与低中度近视组相比明显增加,这可能提示高度近视人群比起低中度近视人群存在更不规则的FAZ区域。考虑到目前关于近视人群FAZ的研究较少,高度近视人群FAZ各参数是否会发生变化以及如何变化,仍需要更大样本的研究来进一步明确。

本研究发现,高度近视组外环上方视网膜厚度较低中度近视组更薄,其余各区视网膜厚度两组间无明显差异。以往刘玉婷等[14]研究也发现随着近视度数增加,视网膜变薄,且以外环显著,可能是视网膜随近视程度增加牵拉变薄的结果[23]。本研究还发现,高度近视组患者黄斑区中心凹视网膜厚度比低中度近视组厚,这可能与中心凹范围内包括了中心凹无血管区有关,此区受血管密度改变影响较小,且是视力最敏感的区域,视网膜厚度反而可能有代偿性增加。也有学者提出,内界膜及后极部玻璃体与视网膜紧密连接所产生的反向牵引会在一定程度上抵消后巩膜拉伸视网膜变薄的牵拉力[24],两个反向力互相制约,造成中心凹视网膜厚度无明显变化,而中心凹旁区巩膜受到更大的拉伸力而更容易变薄。ZHAO等[25]研究表明,1~3 mm内圆环的视网膜厚度无明显改变,而>3~6 mm的外环区域厚度变化明显,提示黄斑区3~6 mm外环范围的视网膜厚度较内环更易受到近视程度的影响。值得注意的是,本研究中高度近视患者内环血管密度下降明显,视网膜厚度变化却是外环变薄明显,似乎与随轴性近视程度增加、视网膜拉伸变薄、血管密度下降的假说不符。究其原因,除了研究误差外,高度近视患者内环与外环发生变化可能存在更复杂的机制,需要进一步探究。

本研究相关性分析显示,AL与SER呈高度正相关($P<0.05$)。总体上黄斑各分区视网膜厚度、VLD、VPD与SER呈正相关,与AL呈负相关,这可能与随等效球镜减小、眼轴增长,视网膜拉伸变薄,从而血管密度降低有关。分析还表明,黄斑区中心凹及外环各象限视网膜厚度均与VLD、VPD呈正相关,而内环各象限视网膜厚度与VLD、VPD无明显相关性。既往研究发现除中心凹外,其余黄斑各区血管密度与视网膜厚度无明显相关性[26-27];其采用的扫描模式为更窄的3×3,反映内环内的视网膜厚度及血管密度变化,与本研究结论基本一致。视网膜厚度与其对应区域血管密度之间的关系尚不明了,有学者认为,随着视网膜厚度的增加,导致视网膜对氧气和营养的需求增加,从而引起视网膜血流灌注代偿性增加,血管容量的增多又引起视网膜厚度的变化[26]。具体机制需要更大样本、更深入研究的支持。

综上所述,应用OCTA可无创、快捷检测黄斑区视网膜厚度及血管密度,结果显示高度近视组患者浅层血管密度较对照组有所下降,且主要在内环;高度近视组视网膜厚度除外环上方明显变薄外,其余各区与对照组无明显差异。随等效球镜度减小、眼轴增长,总体上黄斑区视网膜变薄,浅层血管密度降低,且各区视网膜厚度与浅层血管密度之间存在一定正相关性。

本研究存在一定的局限性。由于本研究性质为横断面研究,且样本量较小,结果不排除个体差异的影响,需要更多大样本、多中心、随机对照研究进一步为临床提供参考。总之,OCTA可以作为定量评估非病理性高度近视人群各种早期视网膜变化的工具,为高度近视这一国际性难题提供更多参考依据。

**参考文献:**

[1] HOLDEN B A, FRICKE T R, WILSON D A, *et al*. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050[J]. Ophthalmology, 2016, 123(5): 1036-1042. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006.

[2] OHNO-MATSUI K, LAI T Y Y, LAI C C, *et al*. Updates of pathologic myopia[J]. Prog Retin Eye Res, 2016, 52: 156-187. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2015.12.001.

[3] NG D S C, CHEUNG C Y L, LUK F O, *et al*. Advances of optical coherence tomography in myopia and pathologic myopia[J]. Eye (Lond), 2016, 30(7): 901-916. DOI: 10.1038/eye.2016.47.

[4] MRUGACZ M, BRYL A. Evaluation of the arterial blood flow parameters in the eye of myopic patients[J]. Pol Merkur Lekarski, 2013, 34(202): 205-209.

[5] WANG X L, KONG X M, JIANG C H, *et al*. Is the peripapillary retinal perfusion related to myopia in healthy eyes? A prospective comparative study[J]. BMJ Open, 2016, 6(3): e010791. DOI: 10.1136/bmjopen-2015-010791.

[6] YAPRAK A C, YAPRAK L. Retinal microvasculature and optic disc alterations in non-pathological high myopia with optical coherence tomography angiography[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2021, 259(11): 3221-3227. DOI: 10.1007/s00417-021-05216-x.

[7] VERHOEVEN V J, WONG K T, BUITENDIJK G H, *et al*. Visual consequences of refractive errors in the general population[J]. Ophthalmology, 2015, 122(1): 101-109. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.07.030.

[8] KUMAR A, CHAWLA R, KUMAWAT D, *et al*. Insight into high myopia and the macula[J]. Indian J Ophthalmol, 2017, 65(2): 85-91. DOI: 10.4103/ijo.IJO_863_16.

[9] WANG T T, LI H, ZHANG R R, *et al*. Evaluation of retinal vascular density and related factors in youth myopia without maculopathy using OCTA[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 15361. DOI: 10.1038/s41598-021-94909-8.

[10] 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. DOI: 10.1016/j.ajo.2016.10.018.

[11] MO J, DUAN A L, CHAN S, *et al*. Vascular flow density in pathological myopia: an optical coherence tomography angiography study[J]. BMJ Open, 2017, 7(2): e013571. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-013571.

[12] YANG S Q, ZHOU M W, LU B, *et al*. Quantification of macular vascular density using optical coherence tomography angiography and its relationship with retinal thickness in myopic eyes of young adults[J]. J Ophthalmol, 2017, 2017: 1397179. DOI: 10.1155/2017/1397179.

[13] 田春柳, 赵军, 张娟美, 等. 基于OCTA的高度近视患眼黄斑区视网膜血管密度分析[J]. 眼科新进展, 2020, 40(3): 257-260. DOI: 10.13389/j.cnki.rao.2020.0060.
TIAN C L, ZHAO J, ZHANG J M, *et al*. Analysis of retinal vascular density in macular area of eyes with high myopia by OCTA[J]. Recent Adv Ophthalmol, 2020, 40(3): 257-260. DOI: 10.13389/j.cnki.rao.2020.0060.

[14] 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. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2021.5.08.
LIU Y T, LEI Y Q, TIAN M, *et al*. Comparison of macular vascular density and retinal thickness in children with different degrees of myopia[J]. Int Eye Sci, 2021, 21(5): 789-795. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2021.5.08.

[15] 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. DOI: 10.1167/iovs.14-16270.

[16] IAFE N A, PHASUKKIJWATANA N, CHEN X J, *et al*. Retinal capillary density and foveal avascular zone area are age-dependent: quantitative analysis using optical coherence tomography angiography[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2016, 57(13): 5780-5787. DOI: 10.1167/iovs.16-20045.

[17] 谭亮章, 田芳, 张红. 基于OCTA的近视性屈光参差患者黄斑区血流密度及视网膜厚度分析[J]. 眼科新进展, 2020, 40(3): 268-271. DOI: 10.13389/j.cnki.rao.2020.0063.
TAN L Z, TIAN F, ZHANG H. Analysis of blood flow density and retinal thickness in macular areas of patients with non-amblyopic myopic anisometropia by OCT[J]. Recent Adv Ophthalmol, 2020, 40(3): 268-271. DOI: 10.13389/j.cnki.rao.2020.0063.

[18] JIANG H, DELGADO S, LIU C, *et al*. *In vivo* characterization of retinal microvascular network in multiple sclerosis[J]. Ophthalmology, 2016, 123(2): 437-438. DOI: 10.1016/j.ophtha.2015.07.026.

[19] 黄灿凤. OCTA在不同程度近视眼黄斑和视乳头的应用研究[D]. 福州: 福建医科大学, 2019. DOI: 10.27020/d.cnki.gfjyu.2019.000792.
HUANG C F. Application of OCTA in the macula and optic disc of different degrees of myopia[D]. Fuzhou: Fujian Medical University, 2019. DOI: 10.27020/d.cnki.gfjyu.2019.000792.

[20] YANG D W, CAO D, ZHANG L, *et al*. Macular and peripapillary vessel density in myopic eyes of young Chinese adults[J]. Clin Exp Optom, 2020, 103(6): 830-837. DOI: 10.1111/cxo.13047.

[21] 廖燕红, 龚雁, 陈利双, 等. 不同轴长高度近视黄斑区微血管的光学相干断层扫描血管成像观察[J]. 现代实用医学, 2020, 32(11): 1377-1379. DOI: 10.3969/j.issn.1671-0800.2020.11.036.
LIAO Y H, GONG Y, CHEN L S, *et al*. Observation of macular microvessels in high myopia with different axial lengths by optical coherence tomography angiography[J]. Mod Pract Med, 2020, 32(11): 1377-1379. DOI: 10.3969/j.issn.1671-0800.2020.11.036.

[22] GUO Y X, PANG Y L, KANG Y J, *et al*. Correlations among peripapillary vasculature, macular superficial capillaries, and eye structure in healthy and myopic eyes of Chinese young adults (STROBE)[J]. Medicine (Balti-

more), 2020, 99(37): e22171. DOI: 10.1097/MD.0000000000022171.

[23] HWANG Y H, KIM Y Y. Macular thickness and volume of myopic eyes measured using spectral-domain optical coherence tomography[J]. Clin Exp Optom, 2012, 95(5): 492-498. DOI: 10.1111/j.1444-0938.2012.00749.x.

[24] WU P C, CHEN Y J, CHEN C H, *et al*. Assessment of macular retinal thickness and volume in normal eyes and highly myopic eyes with third-generation optical coherence tomography[J]. Eye, 2008, 22(4): 551-555. DOI: 10.1038/sj.eye.6702789.

[25] 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. DOI: 10.1186/s12886-015-0080-5.

[26] 刘克政, 许晓璇, 吴晓蓉, 等. 不同屈光度对近视黄斑区视网膜血管密度及厚度的影响研究[J]. 江西医药, 2020, 55(12): 1858-1861. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2238.2020.12.038.

LIU K Z, XU X X, WU X R, *et al*. Effects of different diopter on retinal vessel density and thickness in myopic macular area[J]. Foreign Lang Teach Res, 2020, 55(12): 1858-1861. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2238.2020.12.038.

[27] 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. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9400.2017.06.001.

FENG L M, YANG Y, HU L, *et al*. The analysis of macular microvasculature alteration of myopic eyes with optical coherence tomography angiography[J]. J Wenzhou Med Univ, 2017, 47(6): 391-396. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9400.2017.06.001.

(收稿:2021-11-07;修回:2022-01-27)

(编辑 张 维)

(上接1060页)

[18] ANGIOLI R, CAPRIGLIONE S, SCALETTA G, *et al*. The role of HE4 in endometrial cancer recurrence: how to choose the optimal follow-up program[J]. Tumour Biol, 2016, 37(4): 4973-4978. DOI: 10.1007/s13277-015-4324-z.

[19] LO S S, KHOO U S, CHENG D K, *et al*. Role of serial tumor markers in the surveillance for recurrence in endometrial cancer[J]. Cancer Detect Prev, 1999, 23(5): 397-400. DOI: 10.1046/j.1525-1500.1999.99043.x.

[20] GOOD D J, COYLE C A, FOX D L. Nhlh2: a basic helix-loop-helix transcription factor controlling physical activity[J]. Exerc Sport Sci Rev, 2008, 36(4): 187-192. DOI: 10.1097/jes.0b013e31818782dd.

[21] WAGNER G, FENZL A, LINDROOS-CHRISTENSEN J, *et al*. LMO3 reprograms visceral adipocyte metabolism during obesity[J]. J Mol Med, 2021, 99(8): 1151-1171. DOI: 10.1007/s00109-021-02089-9.

[22] LINDROOS J, HUSA J L, MITTERER G, *et al*. Human but not mouse adipogenesis is critically dependent on LMO3[J]. Cell Metab, 2013, 18(1): 62-74. DOI: 10.1016/j.cmet.2013.05.020.

[23] AUSTIN H, AUSTIN JR J M, PARTRIDGE E E, *et al*. Endometrial cancer, obesity, and body fat distribution[J]. Cancer Res,1991,51(2): 568-572.

[24] YU H Y, JIA R C, ZHAO L, *et al*. LDB2 inhibits proliferation and migration in liver cancer cells by abrogating HEY1 expression[J]. Oncotarget, 2017, 8(55): 94440-94449. DOI: 10.18632/oncotarget.21772.

[25] STORBECK C J, WAGNER S, O'REILLY P, *et al*. The Ldb1 and Ldb2 transcriptional cofactors interact with the Ste20-like kinase SLK and regulate cell migration[J]. MBoC, 2009, 20(19): 4174-4182. DOI: 10.1091/mbc.e08-07-0707.

[26] 杨楠, 陈天翔, 刘润坤, 等. IFIT5在肝细胞癌中表达上调并促进肝癌细胞侵袭和迁移[J]. 第三军医大学学报, 2020, 42(21): 2093-2099. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202005290.

YANG N, CHEN T X, LIU R K, *et al*. Enhanced expression of interferon-induced protein with tetratricopeptide repeats 5 promotes migration and invasion of hepatocellular carcinoma cells[J]. J Third Mil Med Univ, 2020, 42(21): 2093-2099. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202005290.

[27] XUAN Y W, LIAO M, ZHAI W L, *et al*. MicroRNA-381 inhibits lung adenocarcinoma cell biological progression by directly targeting LMO3 through regulation of the PI3K/Akt signaling pathway and epithelial-to-mesenchymal transition[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2019, 23(19): 8411-8421. DOI: 10.26355/eurrev_201910_19152.

(收稿:2021-10-18;修回:2022-01-06)

(编辑 王 红)