

# 远视性屈光参差性弱视患者黄斑区视网膜和脉络膜血管及结构特征分析

王鸽 靳雨佳 庆惠玲 吕天斌 王冬冬

河南省人民医院眼科 河南省立眼科医院 郑州大学人民医院, 郑州 450003

通信作者: 王冬冬, Email: 690619500@qq.com

**【摘要】 目的** 采用扫频源光学相干断层扫描血管成像(SS-OCTA)技术对远视性屈光参差性弱视患者的黄斑区视网膜和脉络膜血管及结构参数进行定量分析。**方法** 采用自身对照研究, 纳入2022年1月至2023年6月于河南省立眼科医院确诊的远视性屈光参差性弱视患者60例120眼, 其中60只远视性弱视眼为远视性弱视组, 60只对侧眼为对照。为深入探究不同远视度数及弱视严重程度对黄斑区视网膜和脉络膜血管及结构参数的影响, 进一步将远视性屈光参差性弱视分为轻中度远视性弱视组28眼和重度远视性弱视组32眼。采用SS-OCTA测量受试眼黄斑区视网膜和脉络膜血管及结构参数, 包括浅层血管网密度(SCPVD)、深层血管网密度(DCPVD)、脉络膜厚度(ChT)、脉络膜血管容积(CVV)、脉络膜血管指数(CVI)及黄斑中心凹无血管区(FAZ)面积。**结果** 远视性弱视组黄斑区整体SCPVD、DCPVD、CVV、ChT均高于对侧眼组, CVI低于对侧眼组, 差异均有统计学意义( $t=8.439, 7.008, 14.068, 29.857, -29.943$ , 均 $P<0.001$ )。远视性弱视组内环鼻侧、内环下方、外环上方、外环颞侧、外环下方SCPVD、DCPVD、CVV、ChT均高于对侧眼组, CVI均低于对侧眼组, 差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ ); 内环上方CVV、ChT均高于对侧眼组, 内环颞侧和外环鼻侧SCPVD、CVV、ChT均高于对侧眼组, 各区域CVI均低于对侧眼组, 差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。远视性弱视组和对侧眼组FAZ面积分别为(0.34±0.07)和(0.33±0.06)mm<sup>2</sup>, 差异无统计学意义( $t=1.649, P>0.05$ )。重度远视性弱视组整体SCPVD、DCPVD、ChT均高于轻中度远视性弱视组, CVI低于轻中度远视性弱视组, 差异均有统计学意义( $t=2.213, 2.166, 6.115, -2.076$ , 均 $P<0.05$ )。重度远视性弱视组外环颞侧、外环下方SCPVD、DCPVD均高于轻中度远视性弱视组, 差异均有统计学意义(SCPVD:  $t=2.051, 2.045$ , 均 $P<0.05$ ; DCPVD:  $t=2.212, 2.264$ , 均 $P<0.05$ )。重度远视性弱视组内环鼻侧、内环颞侧、内环下方、外环颞侧、外环下方ChT均高于轻中度远视性弱视组, 差异均有统计学意义( $t=2.124, 2.902, 3.081, 2.562, 2.641$ , 均 $P<0.05$ )。**结论** 远视性屈光参差性弱视患者弱视眼与对侧眼相比, 存在黄斑区视网膜和脉络膜血管及结构异常, 主要表现为血管密度和血管容积增加、ChT增厚, CVI减小, 且异常程度与远视性屈光参差性弱视的严重程度有关。

**【关键词】** 屈光参差, 弱视; 远视; 扫频源光学相干断层扫描血管成像; 黄斑区血管网密度; 脉络膜厚度; 脉络膜血管指数; 脉络膜血管容积

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250917-00304

## Features of macular retinal and choroidal vessels and structure in patients with hyperopic anisometropic amblyopia

Wang Ge, Jin Yujia, Qing Huiling, Lyu Tianbin, Wang Dongdong

Department of Ophthalmology, Henan Provincial People's Hospital, Henan Eye Hospital, People's Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450003, China

Corresponding author: Wang Dongdong, Email: 690619500@qq.com

**【Abstract】 Objective** To quantitatively analyze macular retinal and choroidal vascular and structural parameters in patients with hyperopic anisometropic amblyopia using swept-source optical coherence tomography angiography (SS-OCTA). **Methods** A self-controlled study was conducted. Sixty patients with hyperopic anisometropic amblyopia (120 eyes) diagnosed at Henan Eye Hospital from January 2022 to June 2023 were included. Among them, 60 hyperopic amblyopic eyes were set as a hyperopic amblyopia group, and 60 contralateral emmetropic eyes were used as a control group. In order to deeply explore the effects of different hyperopia degrees and amblyopia severity on the structure and blood flow of the macular retinal and choroidal vascular and structural parameters, this study further divided hyperopic anisometropic amblyopia into a mild to moderate hyperopic amblyopia group (28 eyes) and a severe hyperopic amblyopia group. All eyes were scanned using SS-OCTA, and the following parameters were measured including superficial capillary plexus vascular density (SCPVD), deep capillary plexus vascular density (DCPVD), choroidal thickness (ChT), choroidal vascular volume (CVV), choroidal vascularity

index (CVI), and fovea avascular area (FAZ) area. This study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. The research protocol was approved by the Ethics Committee of Henan Eye Hospital (No. HNEECKY-2022 [10]). All participants were informed of the nature and potential consequences of the study and provided written informed consent. For minors, informed consent was signed by their legal guardians.

**Results** The overall SCPVD, DCPVD, CVV, and ChT in the macula area in the hyperopic amblyopic group were higher than those in the fellow eye group, and the CVI was lower than that in the fellow eye group, with statistically significant differences ( $t=8.439, 7.008, 14.068, 29.857, -29.943$ ; all  $P<0.001$ ). The SCPVD, DCPVD, CVV, and ChT in the inner ring nasal side, the inner ring inferior, the outer ring superior side, the outer ring temporal side, and the outer ring inferior in the hyperopic amblyopic group were higher than those in the fellow eye group, and the CVI was lower than that in the fellow eye group (all  $P<0.05$ ). The CVV, ChT above the inner ring were higher in the hyperopic amblyopic group than in the fellow eye group, and the SCPVD, CVV, and ChT at the inner ring temporal side and the outer ring nasal side were higher than that in the fellow eye group. The CVI in different regions was lower than that in the fellow eye group (all  $P<0.05$ ). The FAZ areas in the hyperopic amblyopic group and fellow eye group were  $(0.34\pm 0.07)$  and  $(0.33\pm 0.06)$  mm<sup>2</sup>, respectively, with no significant difference ( $t=1.649, P>0.05$ ). The overall SCPVD, DCPVD, and ChT in the severe hyperopic amblyopia group were higher and the CVI was lower than those in the mild to moderate hyperopic amblyopia group, with statistically significant differences ( $t=2.213, 2.166, 6.115, -2.076$ ; all  $P<0.05$ ). SCPVD and DCPVD in the outer ring temporal side and outer ring inferior side in severe hyperopic amblyopia group were higher than those in mild to moderate hyperopic amblyopia group, and the differences were statistically significant (SCPVD:  $t=2.051, 2.045$ ; both  $P<0.05$ ; DCPVD:  $t=2.212, 2.264$ ; both  $P<0.05$ ). The ChT in the inner ring nasal side, inner ring temporal side, inner ring inferior side, outer ring temporal side, and outer ring inferior side in the severe hyperopic amblyopia group were higher than those in the mild to moderate hyperopic amblyopia group, and the differences were statistically significant ( $t=2.124, 2.902, 3.081, 2.562, 2.641$ ; all  $P<0.05$ ).

**Conclusions** In patients with hyperopic anisometropic amblyopia, compared with contralateral eyes, there are vascular and structural abnormalities in the macula area and choroid of the affected eye, which are mainly manifested by increased vessel density volume, ChT thickening, reduced CVI, and the degree of abnormality is related to the severity of hyperopic anisometropic amblyopia.

**[Key words]** Anisometropic; amblyopia; Hyperopia; Swept-source optical coherence tomography angiography; Macula, vascular density; Choroid, thickness; Choroidal vascularity index; Choroidal vascular volume

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250917-00304

远视性屈光参差性弱视是一种双眼远视度数差异显著的疾病,由于远视眼屈光度较高或未患病眼的视觉抑制,造成远视眼的最佳矫正视力(best-corrected visual acuity, BCVA)较差,其视网膜成像长期模糊,从而引发大脑视觉皮层功能发育障碍<sup>[1]</sup>。视网膜在远视性屈光参差性弱视中主要作为形态结构改变的靶器官和功能异常的起始环节,其作用体现在结构变化、血流异常及与中枢视觉通路的相互作用中<sup>[2-3]</sup>。目前,关于远视性屈光参差性弱视病理生理机制的研究主要集中于视网膜-视觉皮质信号异常<sup>[4]</sup>。

脉络膜主要由血管和基质组成,可为外层视网膜提供氧气和营养物质<sup>[5]</sup>。许多研究表明,脉络膜在儿童屈光发育中可能起重要作用<sup>[6-7]</sup>,脉络膜厚度(choroidal thickness, ChT)是评估其结构与血供状态的经典指标之一。然而,ChT易受眼轴长度(axial length, AL)、眼压等多种生理因素的影响,为了更稳定、特异地评估脉络膜的血管及其结构,研究者们引入了脉络膜血管指数(choroidal vascularity index, CVI)、脉络膜血管容积(choroidal vascular volume, CVV)等参

数。这些参数与ChT互为补充,有望更全面地描述脉络膜在病理生理状态下的改变<sup>[8-9]</sup>。

目前,针对远视性屈光参差性弱视的脉络膜血管结构和血流参数研究较少,黄斑中心凹区域血流分布特征尚不明确。随着眼部检查技术的不断发展,光学相干断层扫描血管成像(optical coherence tomography angiography, OCTA)技术能够以无创、非接触方式获取高质量的脉络膜血流影像<sup>[10-11]</sup>。本研究旨在系统分析远视性屈光参差性弱视患者黄斑区视网膜和脉络膜血管及结构特征,以期为远视性屈光参差性弱视患者的临床治疗提供理论依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

采用自身对照研究,纳入2022年1月至2023年6月于河南省立眼科医院确诊的远视性屈光参差性弱视患者60例120眼,其中60眼为轴性远视性弱视,作为远视性弱视组,另外60只对侧眼作为对照。患者年龄6~28岁。纳入标准:(1)远视性弱视眼均确诊为轴

性远视, 双眼睫状肌麻痹后球镜度差异  $\geq 1.50$  D, 或柱镜度差异  $\geq 1.00$  D; (2) 远视性弱视眼球镜度为  $+3.00 \sim +10.00$  D, 柱镜度  $< -2.00$  D,  $0.1 \leq BCVA < 0.8$ ; (3) 对侧眼球镜度  $< +2.0$  D, 柱镜度  $< -0.75$  D,  $BCVA \geq 0.8$ 。排除标准: (1) 有显性斜视或其他原因造成的弱视者; (2) 有可能影响视力或屈光不正的眼部器质性病变者, 如角膜病变、白内障、眼底病变等; (3) 有无法配合检查的眼部疾病者, 如睑内翻、倒睫、严重干眼等; (4) 有眼部急性炎症性疾病者, 如葡萄膜炎、结膜炎等; (5) 有全身疾病者, 如智力低下、哮喘、严重心肺功能和肾功能异常等; (6) 接受过远视性弱视相关治疗者。为深入探究不同远视度数及弱视严重程度对黄斑区视网膜和脉络膜血管及结构的影响, 进一步将远视性弱视分为轻中度远视性弱视组 28 眼 (屈光度为  $+3.00 \sim +5.00$  D 且  $BCVA > 0.5$ ) 和重度远视性弱视组 32 眼 (屈光度为  $+5.25 \sim +10.00$  D 且  $BCVA \leq 0.5$ )。本研究遵循《赫尔辛基宣言》, 研究方案经河南省立眼科医院伦理委员会审核批准 [批文号: HNEECKY-2022(10)]。所有参与者及未成年人的法定监护人均知晓研究性质和目的, 并签署知情同意书。

## 1.2 方法

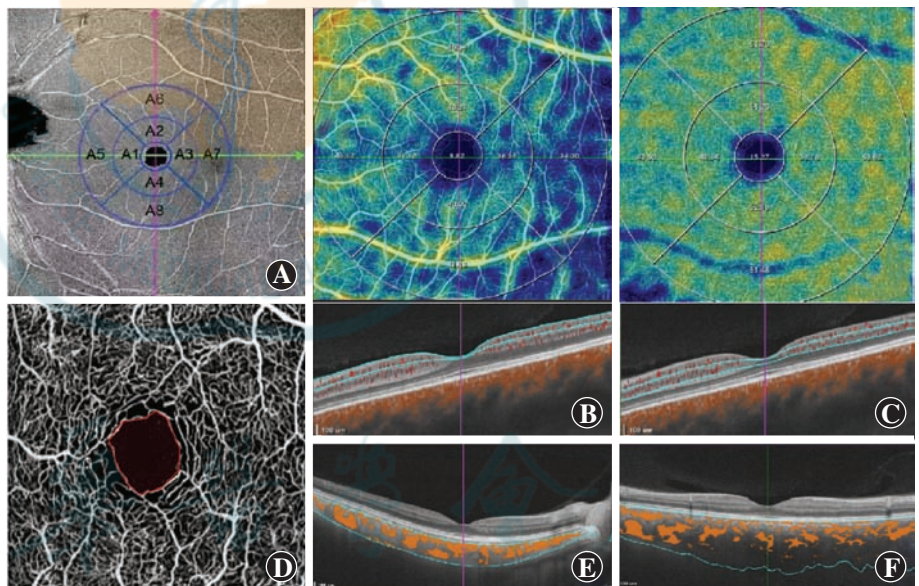
### 1.2.1 一般检查

所有受试者均使用盐酸环喷托酯滴眼液 [爱尔康 (中国) 眼科产品有限公司] 扩瞳后行主观验光检测 BCVA; 采用非接触式眼压计 (NT-530, 日本 Nidek 公司) 测量眼压; 采用裂隙灯显微镜行眼前节检查; 采用眼底照相 (Daytona Pro, 英国欧堡公司) 行眼底检查; 采用 IOLMaster 500 (德国卡尔蔡司公司) 检测 AL 和角膜曲率; 使用同视机检查是否患有斜视。

### 1.2.2 OCTA 检测黄斑区视网膜和脉络膜血管及结构参数

所有受试者均由同一经验丰富的操作人员在一台已校准过的扫频源 (swept-source, SS)-OCT [视微影像 (河南) 科技有限公司] 进行操作, 且仅收集信号强度大于 8 的参数, 该仪器中心波长为 1 050 nm, 扫描速度为 20 万次 A

扫描/s。该系统的轴向分辨率为  $5 \mu\text{m}$ , 横向分辨率为  $20 \mu\text{m}$ 。采用后段扫描模式, 以黄斑中心凹为中心进行  $6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  径向扫描, 每次共扫描 512 行, 每行共 512 次 A 扫描, 每行扫描 4 次。用内置软件自动将视网膜/脉络膜分层, 视网膜和脉络膜的内外环及不同方位分区建立基于早期治疗糖尿病视网膜病变研究, 集中在黄斑中心凹, 分为 9 个子域 3 个同心圆: 内圆直径 1 mm, 中间圆直径 3 mm, 外圆直径 6 mm。内环 (内圆与中间圆之间) 和外环 (中间圆与外圆之间) 被分为上、颞、下、鼻 4 个象限。内置的 SS-OCT 软件自动计算 8 个区域的黄斑区浅层血管网密度 (superficial capillary plexus vascular density, SCPVD)、黄斑区深层血管网密度 (deep capillary plexus vascular density, DCPVD)、CVI、CVV、ChT、黄斑中心凹无血管区 (foveal avascular zone, FAZ) 面积平均值, 在二值化图像上, 血流密度为区域内血流灌注面积与区域总面积的比值 (图 1)。



**图 1 黄斑区视网膜和脉络膜血管及结构参数测量示意图** A: 黄斑区视网膜分区示意图 以中心凹为核心, 采用同心圆方式划分, 其中内环区为旁中心凹, 直径  $1 \sim 3$  mm; 外环区为中心凹周围区, 直径  $3 \sim 6$  mm; A1~A8 分别为内环鼻侧、内环上方、内环颞侧、内环下方、外环鼻侧、外环上方、外环颞侧、外环下方 B: 黄斑区 SCPVD 测量示意图 C: 黄斑区 DCPVD 测量示意图 D: FAZ 面积测量示意图 E: CVV 测量示意图 F: CVI 测量示意图 SCPVD: 浅层血管网密度; DCPVD: 深层血管网密度; FAZ: 黄斑中心凹无血管区; CVV: 脉络膜血管容积; CVI: 脉络膜血管指数

**Figure 1 Schematic diagram of macular retinal and choroidal vascular and structure parameter measurement** A: Schematic diagram of retinal segmentation The macular region was divided into concentric circular zones centered on the fovea. The inner ring, known as the parafovea, had a diameter ranging from 1 to 3 mm, while the outer ring, referred to as the perifovea, had a diameter ranging from 3 to 6 mm. A1 to A8 represented the nasal inner region, superior inner region, temporal inner region, inferior inner region, nasal outer region, superior outer region, temporal outer region, and inferior outer region, respectively B: Schematic diagram of SCPVD in the macular area measurement C: Schematic diagram of DCPVD in the macular area measurement D: Schematic diagram of FAZ area measurement E: Schematic diagram of CVV measurement F: Schematic diagram of CVI measurement SCPVD: superficial capillary plexus vascular density; DCPVD: deep capillary plexus vascular density; FAZ: foveal avascular zone; CVV: choroidal vascular volume; CVI: choroidal vascular index

### 1.3 统计学方法

采用 SPSS 23.0 统计学软件进行统计分析。计量资料经 Shapiro-Wilk 检验证实符合正态分布,以 $\bar{x}\pm s$ 表示,远视性弱视组与对侧眼组各参数比较采用配对  $t$  检验。不同程度远视性弱视组各参数比较采用独立样本  $t$  检验。采用双尾检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 远视性弱视组和对侧眼组一般资料比较

远视性弱视组 BCVA、AL、AL/角膜曲率半径 (corneal curvature radius ratio, CR) 均低于对侧眼组,等效球镜度高于对侧眼组,差异均有统计学意义 ( $t = -9.458, -8.090, -10.301, -9.442$ , 均  $P < 0.001$ ); 平坦角膜曲率和陡峭角膜曲率比较差异均无统计学意义 ( $t = 0.785, 0.459$ , 均  $P > 0.05$ ) (表 1)。

### 2.2 远视性弱视组和对侧眼组黄斑区 SCPVD、DCPVD、CVI、CVV、ChT 及 FAZ 面积比较

远视性弱视组黄斑区整体 SCPVD、DCPVD、CVV、ChT 均高于对侧眼组, CVI 低于对侧眼组, 差异均有统计学意义 ( $t = 8.439, 7.008, 14.068, 29.857, -29.943$ , 均  $P < 0.001$ )。远视性弱视组内环鼻侧、内环下方、外环上方、外环颞侧、外环下方 SCPVD、DCPVD、CVV、ChT 均高于对侧眼组, CVI 均低于对侧眼组, 差异均有统计学意义 (均  $P < 0.05$ ); 内环上方 CVV、ChT 均高于对侧眼组, 内环颞侧和外环鼻侧 SCPVD、CVV、ChT 均高于对侧眼组, 各区域 CVI 均低于对侧眼组, 差异均有统计学意义 (均  $P < 0.05$ ) (表 2)。远视性弱视组和对侧眼组 FAZ 面积分别为  $(0.34 \pm 0.07)$  和  $(0.33 \pm 0.06) \text{mm}^2$ , 差异无统计学意义 ( $t = 1.649, P > 0.05$ )。

### 2.3 不同程度远视性弱视组黄斑区 SCPVD、DCPVD、CVI、CVV 及 ChT 比较

重度远视性弱视组整体 SCPVD、DCPVD、ChT 均高于轻中度远视性弱视组, CVI 低于轻中度远视性弱

视组, 差异均有统计学意义 ( $t = 2.213, 2.166, 6.115, -2.076$ , 均  $P < 0.05$ )。重度远视性弱视组外环颞侧、外环下方 SCPVD、DCPVD 均高于轻中度远视性弱视组, 差异均有统计学意义 (SCPVD:  $t = 2.051, 2.045$ , 均  $P < 0.05$ ; DCPVD:  $t = 2.212, 2.264$ , 均  $P < 0.05$ )。重度远视性弱视组内环鼻侧、内环颞侧、内环下方、外环颞侧、外环下方 ChT 均高于轻中度远视性弱视组, 差异均有统计学意义 ( $t = 2.124, 2.902, 3.081, 2.562, 2.641$ , 均  $P < 0.05$ ) (表 3)。

## 3 讨论

在视觉发育期, 因远视性屈光不正导致黄斑未能接受充分光刺激, 形成清晰物像的能力受损, 进而造成 BCVA 低于相应年龄正常值, 出现远视性屈光参差性弱视<sup>[12]</sup>。有研究纳入 920 例儿童, 发现在 223 例弱视患儿中, 单眼弱视为主要类型, 占 57.85%, 屈光参差是单眼弱视的主要相关因素之一, 占 68.99%; 在屈光不正类型中, 高度远视最为常见, 在单眼与双眼弱视患儿中分别占 38.76% 和 39.89%<sup>[13]</sup>。刘海华等<sup>[14]</sup>采用多焦视网膜电图对比单眼弱视眼与对侧健眼的视网膜功能, 发现双眼第 1 环 P1 波振幅密度值差异有统计学意义, 第 2~5 环 P1 波振幅密度值、双眼各环 P1 波潜伏期差异均无统计学意义, 提示弱视眼黄斑区视网膜功能存在异常, 周边视网膜功能无异常改变, 信息传导时间在视网膜层无异常改变。关于远视性屈光参差性弱视患者黄斑区视网膜和脉络膜血流动力学研究较为有限。虽然本研究受试者年龄为 6~28 岁, 跨度较大, 但既往研究表明, 儿童青少年的黄斑区血管密度、ChT 等参数在 6 岁后趋于稳定, 随年龄变化幅度较小<sup>[15]</sup>, 提示年龄因素对本研究结果的影响有限。

本研究发现, 与对侧眼相比, 远视性弱视眼黄斑区整体 SCPVD、DCPVD、CVV 显著升高、ChT 增厚, 而 CVI 下降。这些改变可能与短眼轴所致眼球结构重塑有关。短眼轴导致视网膜-脉络膜-巩膜空间结构

表 1 远视性弱视组和对侧眼组一般资料比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

Table 1 Comparison of general data between hyperopic amblyopia group and fellow eye group ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	眼数	BCVA	等效球镜度 (D)	AL (mm)	平坦角膜曲率 (D)	陡峭角膜曲率 (D)	AL/CR
对侧眼组	60	1.00±0.05	0.42±0.10	23.45±0.88	42.09±1.52	43.24±1.51	3.00±0.13
远视性弱视组	60	0.43±0.25	5.33±1.45	21.62±0.82	41.87±1.52	43.36±1.53	2.78±0.11
$t$ 值		-9.458	-9.442	-8.090	0.785	0.459	-10.301
$P$ 值		<0.001	<0.001	<0.001	0.434	0.647	<0.001

注: (配对  $t$  检验) BCVA: 最佳矫正视力; AL: 眼轴长度; AL/CR: 眼轴长度/角膜曲率半径

Note: (Paired  $t$ -test) BCVA: best-corrected visual acuity; AL: axial length; AL/CR: axial length/corneal curvature radius ratio



压缩,单位面积代谢负荷增高;同时,短眼轴直接对大血管产生机械挤压,并增加涡静脉回流阻力,引发血流淤滞及局部缺氧。上述机械性因素构成了远视性弱视眼脉络膜血管结构改变的共同基础。

在视网膜浅层血管方面,本研究发现远视性弱视眼黄斑区多数区域 SCPVD 较对侧眼显著升高。Lv 等<sup>[16]</sup>比较了远视、正视及近视眼的黄斑区视网膜微血管结构,发现 3 个组间 SCPVD 无显著差异。这一对比提示,SCPVD 的广泛增高可能并非单纯远视的普遍特征,也可能与弱视相关的视觉传入异常、神经血管耦合失调有关。弱视形成于视觉发育关键期,此时视网膜和大脑视觉皮层的血管网络尚处于发育阶段,异常的

视觉刺激可能导致视网膜血管网络的发育路径发生偏移<sup>[17]</sup>。此外,传入视觉信号模糊可能使黄斑区神经元处于功能重组或代谢异常状态,引起局部血流调节反应。在视网膜深层血管方面,本研究观察到远视性弱视眼黄斑区多数区域 DCPVD 呈升高趋势,与 Lv 等<sup>[16]</sup>在单纯远视人群中观察到的结果一致。与单纯远视相比,远视性弱视的视觉通路经历了更严重的异常信号输入,可能导致视网膜内层神经元功能活动发生更显著变化<sup>[18]</sup>。为应对叠加的代谢负荷,视网膜可能通过上调血管内皮生长因子等途径,触发深层血管网代偿性扩张或新生血管形成<sup>[19]</sup>,最终形态学表现为 DCPVD 增加。

表 2 远视性弱视组和对侧眼组黄斑区不同区域各参数比较( $\bar{x}\pm s$ )

Table 2 Comparison of parameters in different macular regions between hyperopic amblyopia group and fellow eye group ( $\bar{x}\pm s$ )										
组别	眼数	SCPVD								
		整体	内环鼻侧	内环上方	内环颞侧	内环下方	外环鼻侧	外环上方	外环颞侧	外环下方
对侧眼组	60	42.52±7.58	42.94±6.77	47.42±6.02	39.69±6.16	46.28±6.22	47.66±5.66	43.40±6.10	33.58±5.77	39.23±6.15
远视性弱视组	60	44.85±7.07	45.29±6.80	48.68±6.11	41.64±5.86	48.42±6.59	49.60±5.48	45.26±4.99	36.81±5.25	43.12±5.59
<i>t</i> 值		8.439	2.491	1.632	2.608	2.299	2.834	3.009	4.616	5.082
<i>P</i> 值		<0.001	0.016	0.108	0.012	0.025	0.006	0.004	<0.001	<0.001
组别	眼数	DCPVD								
		整体	内环鼻侧	内环上方	内环颞侧	内环下方	外环鼻侧	外环上方	外环颞侧	外环下方
对侧眼组	60	11.81±7.82	8.20±5.29	8.84±5.44	10.20±5.83	7.76±5.69	11.71±7.93	15.89±6.99	20.19±8.96	11.68±7.07
远视性弱视组	60	14.45±8.24	10.21±6.06	10.48±5.80	11.74±6.71	9.56±5.71	13.05±6.75	17.97±6.96	24.59±7.71	17.98±7.22
<i>t</i> 值		7.008	2.501	1.775	1.597	2.094	1.146	2.033	2.823	6.158
<i>P</i> 值		<0.001	0.015	0.081	0.116	0.041	0.257	0.047	0.006	<0.001
组别	眼数	CVI								
		整体	内环鼻侧	内环上方	内环颞侧	内环下方	外环鼻侧	外环上方	外环颞侧	外环下方
对侧眼组	60	0.38±0.06	0.39±0.06	0.37±0.05	0.37±0.05	0.38±0.06	0.43±0.07	0.37±0.04	0.36±0.04	0.40±0.04
远视性弱视组	60	0.30±0.05	0.29±0.05	0.28±0.06	0.29±0.05	0.29±0.06	0.32±0.05	0.30±0.04	0.30±0.04	0.33±0.04
<i>t</i> 值		-29.943	-12.020	-9.935	-10.331	-11.044	-10.816	-12.280	-13.193	-12.507
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
组别	眼数	CVV								
		整体	内环鼻侧	内环上方	内环颞侧	内环下方	外环鼻侧	外环上方	外环颞侧	外环下方
对侧眼组	60	0.31±0.19	0.13±0.03	0.15±0.03	0.15±0.03	0.15±0.03	0.40±0.11	0.52±0.09	0.51±0.08	0.51±0.09
远视性弱视组	60	0.37±0.21	0.17±0.03	0.18±0.04	0.17±0.03	0.17±0.03	0.55±0.10	0.60±0.11	0.55±0.09	0.54±0.11
<i>t</i> 值		14.068	11.782	6.631	6.549	5.805	11.256	6.625	4.142	2.762
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008
组别	眼数	ChT								
		整体	内环鼻侧	内环上方	内环颞侧	内环下方	外环鼻侧	外环上方	外环颞侧	外环下方
对侧眼组	60	296.05±61.10	273.13±53.99	316.35±56.46	321.88±50.02	300.95±52.16	223.17±50.65	316.57±59.61	323.40±47.03	292.97±48.96
远视性弱视组	60	424.93±81.82	442.37±80.68	459.67±84.09	440.77±78.58	425.88±79.67	395.32±76.32	446.42±78.22	406.60±74.57	382.43±73.54
<i>t</i> 值		29.857	13.885	11.132	9.737	10.765	16.065	10.786	7.403	8.969
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:(配对 *t* 检验) SCPVD:浅层血管网密度;DCPVD:深层血管网密度;CVI:脉络膜血管指数;CVV:脉络膜血管容积;ChT:脉络膜厚度

Note: (Paired *t*-test) SCPVD: superficial capillary plexus vascular density; DCPVD: deep capillary plexus vascular density; CVI: choroidal vascular index; CVV: choroidal vascular volume; ChT: choroidal thickness

本研究发现远视性弱视眼黄斑区 CVI 较对侧眼显著降低,与 Zhu 等<sup>[20]</sup>在高度远视中观察到的结果一致,证实 CVI 下降是远视性屈光不正的脉络膜特征之一。此外,远视性弱视眼 ChT 较对侧眼显著增厚,与 Araki 等<sup>[21]</sup>报道的弱视眼脉络膜增厚结果一致。值得注意的是,伴 CVI 降低的远视性屈光参差性弱视眼 ChT 普遍增厚。这一“厚而低效”的组合印证了“结构性重塑”假说:在短眼轴导致的机械挤压和血流动力学改变的基础上,脉络膜基质的增厚幅度超过了其中大血管的代偿性扩张能力,从而导致血管体积占比相对下降;因此, CVI 降低可能并非血管绝对减少,而是特殊生物力学环境下的功能性抑制与相对性改变,是脉络膜对远视状态的一种整体性结构适应。此外,有

研究发现,在正常儿童中,内环鼻侧和外环鼻侧 CVI 均低于其他区域<sup>[22]</sup>,而本研究中内环鼻侧和外环鼻侧 CVI 略高于其他区域,可能与纳入人群不同有关,其机制有待进一步研究。本研究还发现远视性弱视眼黄斑区整体及各区域 CVV 均显著高于对侧眼。CVV 增高可能源于短眼轴所致脉络膜受压后的代偿性血管扩张,以维持黄斑区高代谢需求,这种代偿类似于中心性浆液性脉络膜视网膜病变中出现的血管容积增高<sup>[23]</sup>。

不同程度远视性弱视组各参数比较结果显示,重度远视性弱视组黄斑区整体、外环颞侧、外环下方 SCPVD、DCPVD 均高于轻中度远视性弱视组。这一结果与上述“视觉传入异常、神经血管耦合失调”的推测一致。重度远视性弱视组黄斑区整体 CVI 低于轻中

表 3 不同程度远视性弱视组黄斑区不同区域各参数比较( $\bar{x}\pm s$ )

Table 3 Comparison of parameters in different macular regions among hyperopic amblyopia groups ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	眼数	SCPVD								
		整体	内环鼻侧	内环上方	内环颞侧	内环下方	外环鼻侧	外环上方	外环颞侧	外环下方
轻中度远视性弱视组	28	44.09±6.86	44.26±6.21	48.27±6.34	41.36±5.35	47.69±6.87	49.04±5.40	45.07±4.18	35.41±4.18	41.63±4.54
重度远视性弱视组	32	45.51±7.11	46.19±7.26	49.03±5.97	41.88±6.35	49.06±6.38	50.09±5.59	45.43±5.67	38.01±5.45	44.37±5.69
<i>t</i> 值		2.213	1.095	0.479	0.336	0.802	0.740	0.286	2.051	2.045
<i>P</i> 值		0.027	0.278	0.634	0.738	0.426	0.462	0.776	0.045	0.045
组别	眼数	DCPVD								
		整体	内环鼻侧	内环上方	内环颞侧	内环下方	外环鼻侧	外环上方	外环颞侧	外环下方
轻中度远视性弱视组	28	13.60±7.67	9.36±5.99	9.98±5.45	11.71±6.63	8.90±5.67	12.41±7.03	17.86±6.81	22.51±5.88	16.06±6.78
重度远视性弱视组	32	15.19±8.36	10.97±6.12	10.93±6.15	11.74±6.87	10.14±5.76	13.60±6.55	18.08±7.21	26.38±7.43	19.70±5.68
<i>t</i> 值		2.166	1.030	0.631	0.019	0.838	0.675	0.123	2.212	2.264
<i>P</i> 值		0.031	0.307	0.530	0.985	0.405	0.502	0.902	0.031	0.027
组别	眼数	CVI								
		整体	内环鼻侧	内环上方	内环颞侧	内环下方	外环鼻侧	外环上方	外环颞侧	外环下方
轻中度远视性弱视组	28	0.31±0.05	0.29±0.06	0.28±0.06	0.30±0.05	0.30±0.06	0.32±0.05	0.31±0.03	0.31±0.04	0.33±0.04
重度远视性弱视组	32	0.30±0.05	0.28±0.05	0.28±0.05	0.29±0.04	0.28±0.05	0.31±0.05	0.30±0.04	0.30±0.04	0.32±0.04
<i>t</i> 值		-2.076	-0.614	-0.278	-0.925	-1.738	-0.369	-0.616	-0.652	-0.907
<i>P</i> 值		0.038	0.542	0.782	0.359	0.088	0.714	0.541	0.517	0.368
组别	眼数	CVV								
		整体	内环鼻侧	内环上方	内环颞侧	内环下方	外环鼻侧	外环上方	外环颞侧	外环下方
轻中度远视性弱视组	28	0.36±0.20	0.17±0.03	0.17±0.03	0.17±0.03	0.17±0.03	0.54±0.09	0.59±0.12	0.53±0.09	0.53±0.09
重度远视性弱视组	32	0.38±0.21	0.18±0.03	0.18±0.04	0.18±0.02	0.17±0.03	0.57±0.11	0.61±0.10	0.57±0.09	0.55±0.13
<i>t</i> 值		0.941	0.949	1.027	1.284	0.708	0.877	0.723	1.972	0.801
<i>P</i> 值		0.347	0.347	0.309	0.204	0.482	0.384	0.472	0.053	0.427
组别	眼数	ChT								
		整体	内环鼻侧	内环上方	内环颞侧	内环下方	外环鼻侧	外环上方	外环颞侧	外环下方
轻中度远视性弱视组	28	401.40±81.19	419.39±82.79	438.93±86.96	411.11±80.69	394.21±75.10	378.39±77.79	430.86±77.78	381.39±77.76	356.89±62.10
重度远视性弱视组	32	445.52±76.80	462.47±74.33	477.81±78.37	466.72±67.75	453.59±73.95	410.13±73.00	460.03±77.25	428.66±65.12	404.78±76.34
<i>t</i> 值		6.115	2.124	1.822	2.902	3.081	1.629	1.455	2.562	2.641
<i>P</i> 值		<0.001	0.038	0.074	0.005	0.003	0.109	0.151	0.013	0.011

注:(独立样本 *t* 检验) SCPVD:浅层血管网密度;DCPVD:深层血管网密度;CVI:脉络膜血管指数;CVV:脉络膜血管容积;ChT:脉络膜厚度

Note: (Independent samples *t*-test) SCPVD: superficial capillary plexus vascular density; DCPVD: deep capillary plexus vascular density; CVI: choroidal vascular index; CVV: choroidal vascular volume; ChT: choroidal thickness

度远视性弱视组,这一结果说明 CVI 降低可能是远视性屈光参差性弱视加重的表现之一,但黄斑区不同区域 CVI 比较差异均无统计学意义,其机制有待进一步探索。重度远视性弱视组黄斑区整体及各区域 CVI 差异均无统计学意义,这一结果可能是由于样本量较小以及各受试者远视度数差距较小导致。重度远视性弱视组黄斑区整体及大部分区域 ChT 均高于轻中度远视性弱视组,这一结果进一步支持了脉络膜结构重塑在远视性屈光参差性弱视机制中的重要作用。随着弱视程度加重,黄斑区整体 SCPVD、DCPVD 和 ChT 呈递增趋势,CVI 呈递减趋势,这一趋势提示弱视程度加重可能伴随视网膜血管的进一步代偿性扩张。

本研究为明确远视性屈光参差性弱视患者的眼底血流改变提供了临床依据,但仍存在一些局限性:(1)样本量相对较小,影响结果的稳健性和普适性。后续将纳入更多远视性屈光参差性弱视患者,并对各年龄段进行分层分析,同时纳入健康人群作为对照。(2)本研究仅能反映某一时间点的血流与结构特征,未能动态观察弱视发展过程中各参数的变化规律。未来拟追踪患者在接受遮盖疗法、视觉训练或光学矫正等干预措施后黄斑区视网膜和脉络膜各参数的动态变化。

综上所述,本研究发现,远视性屈光参差性弱视眼主要表现为血管密度和血管容积增加,ChT 增厚,CVI 减小,且异常程度与远视性屈光参差性弱视严重程度有关。随着人工智能在医学影像分析中的广泛应用,未来可以尝试构建 OCTA 影像的学习模型,自动识别和量化远视性屈光参差性弱视的特征性改变,辅助临床早期诊断与分级,提升远视性屈光参差性弱视诊疗水平。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 王鹤:设计试验、实施研究、收集及整理数据、分析/解析数据、论文撰写及修改;靳雨佳:收集及整理数据、分析/解析数据、统计分析、论文修改;庆惠玲、吕天斌:分析数据、指导研究;王冬冬:设计试验、指导研究、论文修改及定稿

## 参考文献

- [1] Nishi T, Ueda T, Hasegawa T, et al. Choroidal thickness in children with hyperopic anisometropic amblyopia[J]. Br J Ophthalmol, 2014, 98(2): 228-232. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2013-303938.
- [2] Hui W, Xiaofeng H, Hua X, et al. Assessment of choroidal vascularity and choriocapillaris blood perfusion in Chinese preschool-age anisometropic hyperopic amblyopia children[J]. Front Pediatr, 2022, 10: 1056888. DOI: 10.3389/fped.2022.1056888.
- [3] Zhang L, Zhao Y, Shi X, et al. Understanding amblyopia from the perspective of neurovascular units: changes in the retina and brain[J]. Front Cell Dev Biol, 2025, 13: 1590009. DOI: 10.3389/fcell.2025.1590009.

- [4] 敖明昕, 布娟. 视觉皮质可塑性及双眼视觉与弱视治疗新理念[J]. 中华实验眼科杂志, 2017, 35(6): 561-566. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2017.06.016.
- Ao MX, Bu J. Treatment of amblyopia emerging from plasticity of the visual cortex and binocular vision[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2017, 35(6): 561-566. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2017.06.016.
- [5] Nickla DL, Wallman J. The multifunctional choroid[J]. Prog Retin Eye Res, 2010, 29(2): 144-168. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2009.12.002.
- [6] Summers JA. The choroid as a sclera growth regulator[J]. Exp Eye Res, 2013, 114: 120-127. DOI: 10.1016/j.exer.2013.03.008.
- [7] Gerena Arévalo VA, Ruiz-Moreno JM. Choroidal thickness in a hyperopic pediatric population [J]. Diagnostics (Basel), 2022, 12(10): 2330. DOI: 10.3390/diagnostics12102330.
- [8] Agrawal R, Ding J, Sen P, et al. Exploring choroidal angioarchitecture in health and disease using choroidal vascularity index[J]. Prog Retin Eye Res, 2020, 77: 100829. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2020.100829.
- [9] Song D, Han Y, Zhang Z, et al. The correlation between intraocular pressure and choroidal microcirculation in patients with high myopia [J]. Int J Med Sci, 2025, 22(12): 3032-3043. DOI: 10.7150/ijms.113035.
- [10] Láins I, Wang JC, Cui Y, et al. Retinal applications of swept source optical coherence tomography (OCT) and optical coherence tomography angiography (OCTA) [J]. Prog Retin Eye Res, 2021, 84: 100951. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2021.100951.
- [11] 涂书, 姚昱欧, 曾巧珠, 等. 基于超广角 SS-OCTA 的高度近视患者脉络膜血管改变[J]. 中华实验眼科杂志, 2024, 42(11): 1020-1027. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20230125-00026.
- Tu S, Yao YO, Zeng QS, et al. Choroidal vascular changes in high myopic patients using ultra-widefield SS-OCTA [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2024, 42(11): 1020-1027. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20230125-00026.
- [12] 卓文渊, 施长春, 林余蕾. 儿童远视引起的双眼屈光不正性弱视的矫正治疗探讨[J]. 国际眼科杂志, 2014, 14(6): 1026-1029. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2014.06.12.
- Zhuo WY, Shi CC, Lin YL. Therapy effect of standard prescription on ametropic amblyopia in hyperopic children [J]. Int Eye Sci, 2014, 14(6): 1026-1029. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2014.06.12.
- [13] Wu J, Wang N. Prevalence and characteristics of amblyopia, strabismus, and refractive errors among patients aged 3-16 years in Shanghai, China: a hospital-based population study [J]. BMC Ophthalmol, 2024, 24(1): 239. DOI: 10.1186/s12886-024-03477-8.
- [14] 刘海华, 田桂芬, 甘晓玲. 用多焦视网膜电图方法研究弱视视网膜膜功能[J]. 中国实用眼科杂志, 2005, 23(9): 910-914. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2005.09.008.
- Liu HH, Tian GF, Gan XL. Study on the retina impairment of two kind of amblyopia by means of multifocal electroretinogram [J]. Chin J Pract Ophthalmol, 2005, 23(9): 910-914. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2005.09.008.
- [15] Zhang Z, Huang X, Meng X, et al. *In vivo* assessment of macula in eyes of healthy children 8 to 16 years old using optical coherence tomography angiography [J]. Sci Rep, 2017, 7(1): 8936. DOI: 10.1038/s41598-017-08174-9.
- [16] Lv L, Li M, Chang X, et al. Macular retinal microvasculature of hyperopia, emmetropia, and myopia in children [J]. Front Med (Lausanne), 2022, 9: 900486. DOI: 10.3389/fmed.2022.900486.
- [17] Baroncelli L, Braschi C, Spolidoro M, et al. Brain plasticity and disease: a matter of inhibition [J]. Neural Plast, 2011, 2011: 286073. DOI: 10.1155/2011/286073.
- [18] An D, Yu P, Freund KB, et al. Three-dimensional characterization of the normal human parafoveal microvasculature using structural criteria and high-resolution confocal microscopy [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2020, 61(10): 3. DOI: 10.1167/iovs.61.10.3.
- [19] Bengoetxea H, Argandoña EG, Lafuente JV. Effects of visual

- experience on vascular endothelial growth factor expression during the postnatal development of the rat visual cortex[J]. *Cereb Cortex*, 2008, 18(7): 1630-1639. DOI: 10.1093/cercor/bhm190.
- [20]Zhu D, Wang H, Li R, et al. Choroidal thickness and vascular microstructure parameters in Chinese school-age children with high hyperopia using optical coherence tomography[J]. *Front Pediatr*, 2023, 11: 1092153. DOI: 10.3389/fped.2023.1092153.
- [21]Araki S, Miki A, Goto K, et al. Macular retinal and choroidal thickness in unilateral amblyopia using swept-source optical coherence tomography[J]. *BMC Ophthalmol*, 2017, 17(1): 167. DOI: 10.1186/s12886-017-0559-3.
- [22]马娜娜,符爱存,于世傲,等. 正常儿童脉络膜血管指数分布特征及影响因素分析[J]. *中华实验眼科杂志*, 2023, 41(6): 568-575. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20220130-00033.
- Ma NN, Fu AC, Yu SA, et al. Analysis of choroidal vascularity index distribution and influencing factors in normal children[J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2023, 41(6): 568-575. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20220130-00033.
- [23]惠延年. 中心性浆液性脉络膜视网膜病变: 黄斑病, 还是脉络膜病[J]. *国际眼科杂志*, 2025, 25(1): 10-12. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.1.02.
- Hui YN. Central serous chorioretinopathy: macular disease, or choroidal disease[J]. *Int Eye Sci*, 2025, 25(1): 10-12. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.1.02.

(收稿日期:2025-11-12 修回日期:2026-03-17)

(本文编辑:施晓萌 骆世平)

读者·作者·编者

## 本刊对中英文摘要的要求

论著或综述文稿正文请撰写中英文摘要。原创性论著文稿要求为结构式摘要,包括目的(Objective)、方法(Methods)、结果(Results)和结论(Conclusions)4个要素,摘要应能够回答以下问题:(1)为什么进行这项研究。(2)主要用什么方法进行研究。(3)获得什么主要结果。(4)通过研究得出什么结论等。其中目的部分为本课题对上述提出问题设立的目标。方法部分应提供研究对象、样本量、分组情况、各组的干预情况、与研究相适应的观察或检测指标,获得结局指标的手段和设备等。临床研究请说明是前瞻性研究、回顾性研究还是观察性研究。结果部分请客观描述研究的主要发现,包括主要的形态学检查表现、相关的关键性或主要的量化资料以及相应的统计学比较结果,须写明统计学量值及其概率值。结论部分请提出与本研究论据直接相关的、必然的推论,避免得出过度推测性、评价性和扩大化的结论。摘要请用第三人称客观表述,不列图表,不引用文献,不加评论和解释。英文摘要应与中文摘要内容相对应,但为了对外交流的需要,可以略详细。英文摘要应包括论文文题(正体)及全部作者姓名(汉语拼音,姓在前,首字母大写,名在后,首字母大写,双字连写。如:Yin Xiaohui)、标准化的单位名称、城市名称(汉语拼音)、邮政编码及国家名称(全部为斜体)。并请另起一行处提供通信作者姓名的汉语拼音和 Email 地址,如 *Corresponding author: Yin Xiaohui, Email: xiaohuih@126.com*。专家述评或综述类文稿请撰写指示性中英文摘要,摘要内容应包含研究涉及的概念、研究的目的、综述资料的来源、复习的文献量、研究的新发现或应用领域、综合的结果和结论及其意义等必要的信息。

研究论文为前瞻性研究者应在中英文摘要结束处提供临床试验注册号,以“临床试验注册(Trial registration)”为标题,提供注册机构名称和注册号。前瞻性临床研究的论著摘要应注明遵循 CONSORT 声明(Consolidated Standards of Reporting Trials)(<http://www.consort-standart.org/home>)。

## 本刊对论文中统计学方法描述的要求

研究论文如有量化测试指标时须有统计学分析的内容,并在方法部分提供统计学方法的描述,反应变量为单变量时请提供测量指标数据资料的性质(如计量数据资料及计数数据资料的表达方式)、多个样本计量数据资料正态分布检验方法的名称及方差齐性检验方法的名称、实(试)验设计方法及与之相匹配的统计学设计(如配对设计、成组设计、交叉设计、析因设计、正交设计等)、与统计设计相应的统计方法名称(如  $t$  检验、方差分析)以及检验水准。选择方差分析统计设计时应根据单因素或多因素设计选择正确的方法,不宜简单套用单因素方差分析。反应变量为双变量时,应根据实(试)验设计正确选择简单直线相关分析、回归分析或其他方法,不宜简单套用直线相关分析。统计学的检验水准请提供为双侧检验或单侧检验。论文结果部分的统计学分析内容可用相应的图表表达。

统计学符号的著录执行 GB/T 3358.1—2009/ISO 3534-1:2006《统计学词汇及符号》的有关规定,统计学符号一律采用斜体,如样本量用  $n$ ; 中位数用英文斜体大写  $M$ , 样本均数的标准误用英文小写  $\sigma_{\bar{x}}$ ,  $t$  检验用英文小写  $t$ ,  $F$  检验用英文大写  $F$ , 卡方检验用希文小写  $\chi^2$ , 相关系数用英文小写  $r$ , 秩相关分析相关系数用  $r_s$ , 确定系数用  $R^2$ , 自由度用希文小写  $\nu$ ; 概率用英文大写  $P$ ; 检验水准用  $\alpha$ 。统计结果的解释和表达采用对比组或比较对象之间差异有统计学意义的描述方法,而不用对比组之间差异具有显著性(或非常显著性)的描述。论文的统计学分析结果提倡提供统计学检验量值和  $P$  值的具体数据,如不能提供  $P$  值的具体数据时,必须提供统计学检验量值如  $\chi^2$  值、 $t$  值、 $F$  值等。当涉及总体参数(如总体均数、总体率等)时,在给出显著性检验结果的同时,请给出 95% 可信区间(CI)。

(本刊编辑部)