

· 临床研究 ·

单眼和双眼弱视儿童视网膜厚度与视盘参数分析

朱希希 郑巧岚 陈洁 陈午荷

温州医科大学附属眼视光医院, 温州 325027

通信作者: 陈午荷, Email: cwh@eye.ac.cn

【摘要】 目的 探讨单眼和双眼弱视儿童视网膜厚度和视盘参数的差异。**方法** 采用横断面研究, 纳入 2022 年 7 月 1 日至 2024 年 1 月 31 日于温州医科大学附属眼视光医院就诊的弱视儿童 79 例, 同期纳入 43 例视力正常的受试者作为对照组。79 例弱视儿童中, 屈光参差性弱视 39 例、斜视性弱视 19 例、双眼弱视 21 例。采用频域光学相干断层扫描测量各受试者视网膜厚度和视盘相关参数, 比较不同类型弱视患者和对照组以及单眼弱视和双眼弱视患者视网膜厚度、视盘相关参数差异; 采用 Pearson 相关分析评估视网膜厚度、视盘参数和最佳矫正视力 (BCVA) 的相关性。**结果** 与对照组相比, 屈光参差性弱视组和斜视性弱视组黄斑中心凹及旁中心凹视网膜神经纤维层 (RNFL) 更厚, 旁中心凹及周边中心凹外丛状层 (OPL) 更厚, 上方和鼻侧视盘周围视网膜神经纤维层 (cpRNFL) 较薄, 杯盘面积比、垂直杯盘比及水平杯盘比更小, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。双眼弱视儿童视网膜厚度和视盘相关参数与对照组相比差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。与双眼弱视组比较, 单眼弱视组中心凹 RNFL、旁中心凹 OPL、周边中心凹 OPL 更厚, 鼻侧和下方 cpRNFL 更薄, 视杯面积和视杯体积均更小, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。弱视儿童 BCVA (logMAR) 与中心凹 RNFL 厚度、旁中心凹 RNFL 厚度、中心凹 OPL 厚度和旁中心凹 OPL 厚度均呈正相关 ($r = 0.413$ 、 0.186 、 0.275 、 0.311 , 均 $P < 0.05$); 与杯盘面积比、垂直杯盘比、水平杯盘比和视杯体积均呈负相关 ($r = -0.362$ 、 -0.353 、 -0.349 、 -0.244 , 均 $P < 0.05$)。**结论** 与对照组相比, 单眼弱视儿童表现出多个区域的视网膜厚度及视盘参数改变, 而双眼弱视儿童则未见此类差异; 且单眼弱视儿童与双眼弱视儿童视网膜厚度和视盘参数存在显著差异。

【关键词】 弱视; 视网膜厚度; 视盘参数

基金项目: 温州市科技局项目 (Y2021k0974)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20241126-00323

Retinal thickness and optic disc parameters in children with unilateral and bilateral amblyopia

Zhu Xixi, Zheng Qiaolan, Chen Jie, Chen Wuhe

Eye Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, China

Corresponding author: Chen Wuhe, Email: cwh@eye.ac.cn

【Abstract】 Objective To investigate the differences in retinal layer thickness and optic disc parameters in children with unilateral and bilateral amblyopia. **Methods** A cross-sectional study was conducted. Seventy-nine amblyopic children who were admitted to the Eye Hospital of Wenzhou Medical University from July 1, 2022, to January 31, 2024, were included, and 43 subjects with normal vision were included as the control group during the same period. Among the 79 amblyopic children, 39 had anisometropic amblyopia, 19 were strabismic amblyopia, and 21 had bilateral amblyopia. Retinal layer thickness and optic disc parameters of subjects were measured by spectral-domain optical coherence tomography. Differences in retinal layer thickness and optic disc parameters were compared between different types of amblyopia patients and control group, as well as unilateral and bilateral amblyopia patients. Correlation between retinal thickness, optic disc parameters, and best corrected visual acuity (BCVA) was assessed by Pearson correlation analysis. This study complied with the Declaration of Helsinki. The study protocol was reviewed and approved by the Ethics Committee of the Eye Hospital of Wenzhou Medical University (No. 2021-220-k-193). The subjects' guardians were informed about the study and signed informed consent. **Results** Compared with the control group, the retinal nerve fiber layer (RNFL) in the central fovea and parafovea in the anisometropic amblyopia group and strabismus amblyopia group were thicker, the outer plexiform layer (OPL) in the parafoveal and



perifoveal regions was thicker, the superior and nasal circum papillary retinal nerve fiber layer (cpRNFL) around the optic disc was thinner, and the cup-disc area ratio, the cup-disc vertical ratio and the cup-disc horizontal ratio were smaller, with statistically significant differences (all $P < 0.05$). There were no significant differences in retinal thickness and optic disc parameters between bilateral amblyopia group and the control group (both $P > 0.05$). Compared with children with unilateral amblyopia, the central foveal RNFL, parafoveal OPL, perifoveal OPL were thicker, and nasal and inferior cpRNFL were thinner, and the optic cup area and optic cup volume were smaller in children with unilateral amblyopia (all $P < 0.05$). BCVA in amblyopia children was positively correlated with the foveal RNFL thickness, the parafoveal RNFL thickness, the foveal OPL thickness, and the OPL thickness ($r = 0.413, 0.186, 0.275, 0.311$; all $P < 0.05$). BCVA was negatively correlated with the cup-disc area ratio, the cup-disc vertical ratio, the cup-disc horizontal ratio, and the optic cup volume ($r = -0.362, -0.353, -0.349, -0.244$; all $P < 0.05$). **Conclusions** Compared with the control group, children with unilateral amblyopia show distinct retinal morphological changes not observed in bilateral amblyopic children. There are significant differences in retinal thickness and optic disc parameters between unilateral amblyopic and bilateral amblyopia children.

[Key words] Amblyopia; Retinal thickness; Optic disc parameters

Fund program: Wenzhou Municipal Science and Technology Bureau (Y2021k0974)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20241126-00323

弱视是儿童视觉发育障碍的主要原因之一,儿童发病率为 1%~5%^[1],其是由于在视觉发育关键期内,因单眼斜视、屈光参差、形觉剥夺或双眼高度屈光不正等异常视觉经验,导致单眼或双眼的最佳矫正视力 (best-corrected visual acuity, BCVA) 低于相应年龄的正常视力,或双眼视力相差 2 行以上。过去的研究已经发现,弱视患者初级视皮层和外侧膝状体存在损伤^[2-3],但视网膜结构似乎是正常的。然而,随着光学相干断层扫描 (optical coherence tomography, OCT) 技术的发展,对弱视的认识得以深化。OCT 技术使得研究人员能够检测到弱视眼与正常眼在视网膜结构上的差异,包括视网膜厚度、视盘周围视网膜神经纤维层 (circumpapillary retinal nerve fiber layer, cpRNFL) 以及视盘形态测量参数的变化^[4-10]。不同类型的弱视表现出不同的心理物理学特征。例如,在屈光参差性弱视中,视力下降主要是由于光栅分辨率和对比敏感度的降低,而斜视性弱视则以游标视力下降和空间扭曲为特点^[11-12]。此外,视觉中枢区域的缺陷特征在不同类型的弱视之间也有所不同。动物研究表明,相比于双眼形觉剥夺,单眼形觉剥夺导致初级视皮层的损害更为明显^[2,13]。这些发现表明,不同病因的弱视可能对视网膜参数有不同影响。本课题组前期利用 OCT 血管成像技术对屈光参差性、斜视性和双眼弱视患者的视网膜血管密度进行了评估,发现弱视眼的血管密度显著降低,其中屈光参差性弱视降低更为显著,而双眼弱视的降低则相对较小^[14]。这一结果表明,单眼和双眼弱视对视网膜血流的影响存在差异。然而,关于双眼弱视的研究非常少,迄今为止尚无研究对比单眼和双眼弱视的视网膜形态测量参数差异。本研究拟比较

单眼 (屈光参差或斜视性) 和双眼弱视眼与正常对照眼的视网膜形态测量参数差异,以期了解不同类型弱视的病理机制提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用横断面研究,纳入 2022 年 7 月 1 日至 2024 年 1 月 31 日于温州医科大学附属眼视光医院就诊的弱视儿童 79 例,同期纳入 43 例视力正常 (视力 $\geq 20/20$ 且等效球镜度 < -0.5 D)、年龄 ≤ 12 岁的健康受试者作为对照组。弱视儿童纳入标准:(1) 年龄 ≤ 12 岁;(2) 诊断依据美国眼科学会的弱视临床指南:单眼弱视定义为双眼 BCVA 相差超过 2 行,双眼弱视定义为 BCVA 低于 20/30。排除标准:(1) 有神经系统疾病者;(2) 有青光眼、视网膜疾病等其他眼病者。在 79 例弱视儿童中,屈光参差性弱视 39 例 (右眼弱视 25 例,左眼弱视 14 例)、斜视性弱视 19 例 (右眼弱视 8 例,左眼弱视 11 例)、双眼弱视 21 例。单眼弱视由单眼斜视或双眼远视性球镜屈光度数相差 ≥ 1.50 D 的屈光参差引起,双眼弱视由双眼高度远视引起。对于双眼弱视和对照组,选取右眼数据进行分析。各组间年龄、BCVA、等效球镜度及眼轴长度总体比较差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$),性别分布差异无统计学意义 ($P = 0.559$) (表 1)。将单眼弱视患者归组后与双眼弱视患者比较,2 个组间年龄、等效球镜度及眼轴长度差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$),性别分布和 BCVA 差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$) (表 2)。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,研究方案经温州医科大学附属眼视光医院伦理委员会审核批准 (批文号:

表 1 各组基线资料比较
Table 1 Comparison of baseline data among all groups

组别	例数/眼数	年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁) ^a	性别 (男/女, n) ^b	BCVA ($\bar{x} \pm s$, logMAR) ^a	等效球镜度 ($\bar{x} \pm s$, D) ^a	眼轴长度 ($\bar{x} \pm s$, mm) ^a
对照组	43/43	7.86 $\pm$ 1.39	25/18	0.00 $\pm$ 0.03	0.18 $\pm$ 0.33	23.06 $\pm$ 0.71
屈光参差性弱视组	39/39	7.94 $\pm$ 1.59	17/22	0.47 $\pm$ 0.28	4.47 $\pm$ 2.02	21.72 $\pm$ 0.95
双眼弱视组	21/21	6.53 $\pm$ 1.32	11/10	0.39 $\pm$ 0.17	7.39 $\pm$ 2.59	20.62 $\pm$ 1.12
斜视性弱视组	19/19	8.33 $\pm$ 1.54	11/8	0.44 $\pm$ 0.29	3.16 $\pm$ 3.90	22.41 $\pm$ 1.65
F/χ^2 值		4.958	2.064	44.326	59.098	27.621
P 值		0.003	0.559	<0.001	<0.001	<0.001

注: (a: 单因素方差分析; b: χ^2 检验) BCVA: 最佳矫正视力

Note: (a: One-way ANOVA; b: χ^2 test) BCVA: best-corrected visual acuity

表 2 单眼弱视组和双眼弱视组基线资料比较
Table 2 Comparison of baseline data between monocular and binocular amblyopia groups

组别	例数/眼数	年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁) ^a	性别 (男/女, n) ^b	BCVA ($\bar{x} \pm s$, logMAR) ^a	等效球镜度 ($\bar{x} \pm s$, D) ^a	眼轴长度 ($\bar{x} \pm s$, mm) ^a
单眼弱视组	58/58	8.03 $\pm$ 1.57	28/30	0.47 $\pm$ 0.28	4.16 $\pm$ 2.60	21.88 $\pm$ 1.17
双眼弱视组	21/21	6.53 $\pm$ 1.32	11/10	0.39 $\pm$ 0.17	7.39 $\pm$ 2.59	20.62 $\pm$ 1.12
t/χ^2 值		3.979	0.063	1.438	-4.544	4.080
P 值		<0.001	0.802	0.158	<0.001	<0.001

注: (a: 独立样本 t 检验; b: χ^2 检验) BCVA: 最佳矫正视力

Note: (a: Independent samples t -test; b: χ^2 test) BCVA: best-corrected visual acuity

2021-220-k-193), 受试者监护人均对本研究知情并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 一般检查 所有受试者均进行全面的眼科检查, 包括主觉验光、眼位评估、裂隙灯显微镜和眼底检查, BCVA 转换为 logMAR 视力进行统计分析。采用光学生物测量仪 (Lenstar S900, 瑞士 Haag-Streit 公司) 测量眼轴长度 (axial length, AL)。

1.2.2 频域 OCT 相关参数测量 采用频域 OCT (spectral-domain OCT, SD-OCT) (美国 Optovue 公司) 对受试者的黄斑区视网膜厚度和视盘参数进行评估。该设备具有 840 nm 光源、45 nm 带宽和 70 000 次/s 的 A 扫描速率, 扫描长度和深度分别为 8 mm 和 2.388 mm。受试者取坐位, 采用内注视法, 先测量右眼后测量左眼。通过 cross line 模式对黄斑区进行扫描, 检查程序参照文献 [15]。通过扫描分别获取每位受试者视网膜黄斑中心凹水平及垂直方向的二维图像, 选择以中心凹为中心的最佳质量扫描图像进行分析。(1) 采用内置

自动化软件对视网膜进行精确分层, 从而获得视网膜各层的厚度测量值。利用自动算法探测视网膜的 9 个边界, 将视网膜划分成 8 层: 神经纤维层 (nerve fiber layer, NFL)、神经节细胞层 (ganglion cell layer, GCL) + 内丛状层 (inner plexiform layer, IPL)、内核层 (inner nuclear layer, INL)、外丛状层 (outer plexiform layer, OPL)、Henle 纤维层 (Henle fiber layer, HFL) + 外核层 (outer nuclear layer, ONL)、肌样体-椭圆体区 (myoid-ellipsoid zone, MEZ)、感受器外节 (photoreceptor outer segment, OS)、交叉区 (interdigitation zone, IZ) 和视网膜色素上皮 (retinal pigment epithelium, RPE) / Bruch 膜复合体。中心凹区被定义为以黄斑中心凹为中心, 直径 1 mm 的圆形区域。旁中心凹区指内径为 1 mm、外径为 3 mm 的环形区域。周边中心凹区定义为内径为 3 mm、外径为 6 mm 的环形区域 (图 1)。(2) 采用视盘扫描模式对视盘形态进行测量。嘱患者向鼻侧注视视标, 进行直径为 3.4 mm 的圆形扫描, 以视盘为中心进行成像。软件自动计算平均 cpRNFL 厚度以及上、下、鼻、颞 4 个象限的 cpRNFL 厚度, 并分析视盘形

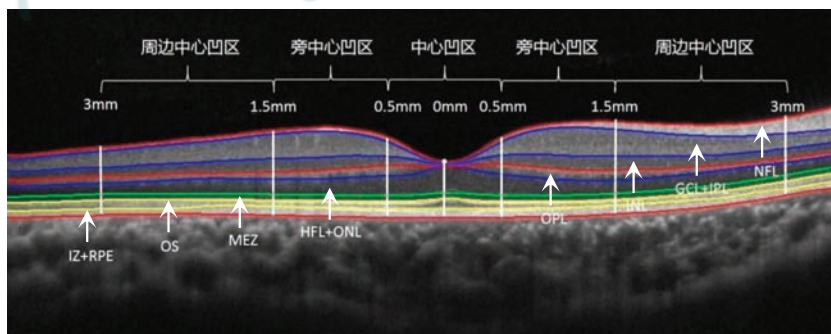


图 1 视网膜分层示意图 NFL: 神经纤维层; GCL: 神经节细胞层; IPL: 内丛状层; INL: 内核层; OPL: 外丛状层; HFL: Henle 纤维层; ONL: 外核层; MEZ: 肌样体-椭圆体区; OS: 感受器外节; IZ: 交叉区; RPE: 视网膜色素上皮

Figure 1 Schematic diagram of retinal layer segmentation NFL: nerve fiber layer; GCL: ganglion cell layer; IPL: inner plexiform layer; INL: inner nuclear layer; OPL: outer plexiform layer; HFL: Henle fiber layer; ONL: outer nuclear layer; MEZ: myoid-ellipsoid zone; OS: photoreceptor outer segment; IZ: interdigitation zone; RPE: retinal pigment epithelium

态学指标,如杯盘面积比、垂直杯盘比、水平杯盘比、盘沿面积、视盘面积以及杯体积。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 19.0 统计学软件进行统计分析。计量资料经 Kolmogorov-Smirnov 检验证实符合正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示。2 个组各参数比较采用独立样本 t 检验;4 个组各参数总体比较采用单因素协方差分析,同时将年龄、眼轴长度和性别作为协变量以控制混杂偏倚,两两比较采用 LSD- t 检验。采用 Pearson 相关分析评估视网膜厚度、视盘参数和 BCVA 的相关性。计数资料以频数表示,各组性别构成比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同类型弱视患者与对照组视网膜层厚度和视盘相关参数比较

对照组、屈光参差性弱视组、双眼弱视组和斜视性弱视组视网膜中心凹 NFL、旁中心凹 NFL、旁中心凹 OPL 及周边中心凹 OPL 总体比较,差异均有统计学意义($F = 9.076, 2.747, 4.592, 5.529$, 均 $P < 0.05$),其中与对照组相比,屈光参差性弱视组和斜视性弱视组视网膜中心凹 NFL、旁中心凹 NFL、旁中心凹 OPL 及周边中心凹 OPL 更厚,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);双眼弱视组上述各参数与对照组相比差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$) (表 3)。

对照组、屈光参差性弱视组、双眼弱视组和斜视性弱视组上方和鼻侧 cpRNFL、杯盘面积比、垂直杯盘比及水平杯盘比总体比较,差异均有统计学意义($F = 3.319, 7.888, 6.276, 5.625, 3.431$, 均 $P < 0.05$),其中与对照组相比,屈光参差性弱视组和斜视性弱视组上方和鼻侧 cpRNFL 更薄,杯盘面积比、垂直杯盘比及水平杯盘比更小,差异均有统计学意义(均 $P < 0.01$);双

表 3 不同类型弱视患者和对照组视网膜层厚度比较($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

Table 3 Comparison of retinal layer thickness among different types of amblyopia groups and control group ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

组别	眼数	中心凹								
		总厚度	NFL	GCL+IPL	INL	OPL	HFL+ONL	MEZ	OS	IZ+RPE
对照组	43	241.98±16.57	11.82±1.87	24.49±7.91	18.99±3.32	12.23±4.09	87.19±6.31	21.36±1.90	32.01±2.69	33.89±2.12
屈光参差性弱视组	39	243.61±15.93	13.93±2.46*	23.98±7.65	17.78±4.22	13.95±5.49	89.15±8.57	20.75±1.91	32.31±2.93	32.79±3.06
双眼弱视组	21	239.34±16.03	11.74±1.48	22.04±5.44	17.01±2.74	12.38±3.89	88.57±8.51	21.94±1.84	32.59±2.11	33.18±1.92
斜视性弱视组	19	250.17±18.08	14.15±1.93*	26.89±8.67	18.48±3.48	14.11±4.67	91.19±8.18	21.18±2.14	32.58±2.66	32.57±2.92
F 值		1.226	9.076	0.861	1.065	1.046	0.757	1.772	0.324	2.103
P 值		0.304	<0.001	0.464	0.367	0.375	0.521	0.157	0.808	0.104
组别	眼数	旁中心凹								
		总厚度	NFL	GCL+IPL	INL	OPL	HFL+ONL	MEZ	OS	IZ+RPE
对照组	43	328.79±12.82	22.13±1.94	85.96±4.60	43.92±3.15	23.81±3.84	72.16±9.08	21.65±1.90	27.02±1.94	32.13±3.23
屈光参差性弱视组	39	329.61±15.23	22.76±2.27*	84.69±5.39	44.03±3.97	27.04±6.52*	71.79±11.15	20.93±1.94	27.65±2.39	30.53±4.47
双眼弱视组	21	333.56±17.36	21.68±2.05	84.49±6.59	43.31±3.46	25.14±5.09	77.26±10.56	22.15±1.81	28.04±1.61	31.46±2.84
斜视性弱视组	19	327.84±15.22	23.27±2.17*	84.86±6.99	43.89±3.28	29.29±6.63*	67.98±9.58	20.61±2.20	27.71±2.76	30.21±3.38
F 值		0.368	2.747	0.599	0.226	4.592	1.958	2.446	0.285	1.935
P 值		0.776	0.046	0.617	0.878	0.005	0.124	0.068	0.836	0.128
组别	眼数	周边中心凹								
		总厚度	NFL	GCL+IPL	INL	OPL	HFL+ONL	MEZ	OS	IZ+RPE
对照组	43	304.05±13.47	31.78±2.61	73.79±4.86	39.99±2.91	20.95±2.69	58.57±6.80	21.63±1.85	29.60±3.76	27.73±3.20
屈光参差性弱视组	39	309.59±12.96	31.35±2.83	75.77±4.26	41.07±2.35	24.22±3.98*	58.65±8.85	20.87±1.92	30.87±3.64	26.77±3.18
双眼弱视组	21	318.35±16.11	31.22±3.42	78.37±5.08	41.33±2.92	22.36±3.00	64.09±8.77	22.47±1.84	31.13±3.07	26.78±2.86
斜视性弱视组	19	307.16±14.36	30.04±2.33	75.48±5.91	40.69±3.49	24.26±3.80*	56.43±5.52	20.47±2.37	30.17±4.75	27.60±4.03
F 值		0.467	0.112	0.357	0.120	5.529	1.603	2.583	0.382	0.383
P 值		0.706	0.953	0.784	0.948	0.001	0.193	0.057	0.766	0.765

注:与对照组比较,* $P < 0.05$ (单因素协方差分析,LSD- t 检验) NFL:视网膜神经纤维层;GCL:神经节细胞层;IPL:内丛状层;INL:内核层;OPL:外丛状层;HFL:Henle 纤维层;ONL:外核层;MEZ:肌样体-椭圆体区;OS:感受器外节;IZ:交叉区;RPE:视网膜色素上皮

Note: Compared with the control group, * $P < 0.05$ (One-way ANCOVA, LSD- t test) NFL: nerve fiber layer; GCL: ganglion cell layer; IPL: inner plexiform layer; INL: inner nuclear layer; OPL: outer plexiform layer; HFL: Henle fiber layer; ONL: outer nuclear layer; MEZ: myoid-ellipsoid zone; OS: photoreceptor outer segment; IZ: interdigitation zone; RPE: retinal pigment epithelium



眼弱视组上述各参数与对照组相比差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)(表 4)。

2.2 单眼弱视与双眼弱视患者视网膜层厚度和视盘相关参数比较

与双眼弱视组比较,单眼弱视组视网膜中心凹

NFL、旁中心凹 OPL 及周边中心凹 OPL 更厚,差异均有统计学意义($t=3.494, 2.045, 2.108$, 均 $P<0.05$)(表 5); 单眼弱视组鼻侧 cpRNFL 和下方 cpRNFL 更薄,视杯面积及视杯体积更小,差异均有统计学意义($t=-2.898, -2.910, -2.034, -2.006$, 均 $P<0.05$)(表 6)。

表 4 不同类型弱视患者和对照组视盘相关参数比较($\bar{x}\pm s$)

Table 4 Comparison of optic disc-related parameters among different types of amblyopia groups and control group ($\bar{x}\pm s$)

组别	眼数	cpRNFL(μm)				
		平均	上方	鼻侧	下方	颞侧
对照组	43	107.48 $\pm$ 7.69	134.79 $\pm$ 12.61	81.98 $\pm$ 12.33	131.81 $\pm$ 15.50	81.24 $\pm$ 8.78
屈光参差性弱视组	39	110.71 $\pm$ 9.01	133.93 $\pm$ 12.88*	75.24 $\pm$ 9.61*	128.91 $\pm$ 15.85	81.57 $\pm$ 12.68
双眼弱视组	21	118.31 $\pm$ 11.75	140.54 $\pm$ 15.01	94.46 $\pm$ 33.44	138.77 $\pm$ 19.80	90.08 $\pm$ 15.63
斜视性弱视组	19	111.22 $\pm$ 15.42	125.67 $\pm$ 28.21*	71.33 $\pm$ 12.34*	129.00 $\pm$ 15.84	82.07 $\pm$ 14.89
F 值		0.991	3.319	7.888	2.312	1.513
P 值		0.438	0.023	<0.001	0.080	0.215

组别	眼数	视盘形态参数					
		杯盘面积比	垂直杯盘比	水平杯盘比	盘沿面积(mm^2)	视杯面积(mm^2)	视杯体积(mm^3)
对照组	43	0.32 $\pm$ 0.14	0.51 $\pm$ 0.13	0.63 $\pm$ 0.17	1.65 $\pm$ 0.34	2.45 $\pm$ 0.39	0.18 $\pm$ 0.17
屈光参差性弱视组	39	0.16 $\pm$ 0.14*	0.32 $\pm$ 0.19*	0.43 $\pm$ 0.23*	1.78 $\pm$ 0.45	2.28 $\pm$ 0.43	0.08 $\pm$ 0.09*
双眼弱视组	21	0.16 $\pm$ 0.12	0.30 $\pm$ 0.21	0.43 $\pm$ 0.27	2.16 $\pm$ 0.62	2.61 $\pm$ 0.84	0.11 $\pm$ 0.19
斜视性弱视组	19	0.15 $\pm$ 0.17*	0.28 $\pm$ 0.22*	0.42 $\pm$ 0.30*	1.75 $\pm$ 0.45	2.25 $\pm$ 0.55	0.08 $\pm$ 0.10*
F 值		6.276	5.625	3.431	0.829	2.059	2.445
P 值		<0.001	0.001	0.020	0.481	0.110	0.068

注:与对照组比较,* $P<0.05$ (单因素协方差分析,LSD- t 检验) cpRNFL:视盘周围视网膜神经纤维层

Note: Compared with the control group, * $P<0.05$ (One-way ANCOVA, LSD- t test) cpRNFL: circumpapillary retinal nerve fiber layer

表 5 单眼弱视组与双眼弱视组视网膜层厚度比较($\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$)

Table 5 Comparison of retinal layer thickness between monocular and binocular amblyopia groups ($\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$)

组别	眼数	中心凹								
		总厚度	NFL	GCL+IPL	INL	OPL	HFL+ONL	MEZ	OS	IZ+RPE
单眼弱视组	58	245.15 $\pm$ 16.55	13.98 $\pm$ 2.33	24.67 $\pm$ 7.93	17.95 $\pm$ 4.04	13.99 $\pm$ 5.28	89.63 $\pm$ 8.46	21.05 $\pm$ 1.96	32.37 $\pm$ 2.86	32.74 $\pm$ 3.01
双眼弱视组	21	239.34 $\pm$ 16.04	11.74 $\pm$ 1.48	22.04 $\pm$ 5.44	17.01 $\pm$ 2.74	12.38 $\pm$ 3.90	88.57 $\pm$ 8.51	21.94 $\pm$ 1.84	32.60 $\pm$ 2.11	33.18 $\pm$ 1.92
t 值		1.224	3.494	1.109	0.529	1.247	0.635	-1.776	-0.168	-0.996
P 值		0.224	0.001	0.271	0.599	0.215	0.528	0.079	0.867	0.320

组别	眼数	旁中心凹								
		总厚度	NFL	GCL+IPL	INL	OPL	HFL+ONL	MEZ	OS	IZ+RPE
单眼弱视组	58	329.19 $\pm$ 15.13	22.88 $\pm$ 2.24	84.86 $\pm$ 5.80	43.99 $\pm$ 3.80	28.57 $\pm$ 6.56	70.90 $\pm$ 10.85	20.86 $\pm$ 1.99	27.66 $\pm$ 2.46	30.45 $\pm$ 4.22
双眼弱视组	21	333.56 $\pm$ 17.36	21.68 $\pm$ 2.05	84.49 $\pm$ 6.59	43.32 $\pm$ 3.46	25.15 $\pm$ 5.10	77.26 $\pm$ 10.56	22.15 $\pm$ 1.82	28.04 $\pm$ 1.61	31.46 $\pm$ 2.84
t 值		-0.176	1.156	0.787	0.661	2.045	-0.845	-1.776	-0.132	-1.354
P 值		0.861	0.252	0.438	0.511	0.045	0.400	0.080	0.895	0.179

组别	眼数	周边中心凹								
		总厚度	NFL	GCL+IPL	INL	OPL	HFL+ONL	MEZ	OS	IZ+RPE
单眼弱视组	58	309.02 $\pm$ 13.22	31.51 $\pm$ 2.72	75.70 $\pm$ 4.65	40.98 $\pm$ 2.63	24.23 $\pm$ 3.92	58.13 $\pm$ 8.21	20.78 $\pm$ 2.02	30.71 $\pm$ 3.90	26.96 $\pm$ 3.38
双眼弱视组	21	318.35 $\pm$ 16.11	31.22 $\pm$ 3.42	78.37 $\pm$ 5.08	41.33 $\pm$ 2.92	22.36 $\pm$ 3.00	61.10 $\pm$ 8.77	22.04 $\pm$ 1.84	31.13 $\pm$ 3.07	26.78 $\pm$ 2.86
t 值		-0.923	0.131	-0.501	-1.012	2.108	-1.241	-1.720	-0.009	0.697
P 值		0.359	0.896	0.618	0.315	0.038	0.216	0.091	0.993	0.487

注:(独立样本 t 检验) NFL:神经纤维层;GCL:神经节细胞层;IPL:内丛状层;INL:内核层;OPL:外丛状层;HFL:Henle 纤维层;ONL:外核层;MEZ:肌样体-椭圆体区;OS:感受器外节;IZ:交叉区;RPE:视网膜色素上皮

Note: (Independent samples t -test) NFL: nerve fiber layer; GCL: ganglion cell layer; IPL: inner plexiform layer; INL: inner nuclear layer; OPL: outer plexiform layer; HFL: Henle fiber layer; ONL: outer nuclear layer; MEZ: myoid-ellipsoid zone; OS: photoreceptor outer segment; IZ: interdigitation zone; RPE: retinal pigment epithelium



2.3 弱视患者视网膜层厚度和视盘相关参数与 BCVA 的相关性分析

相关性分析显示,弱视儿童黄斑中心凹 RNFL 厚度、旁中心凹 RNFL 厚度、中心凹 OPL 厚度、旁中心凹 OPL 厚度与 BCVA 均呈正相关($r=0.413, 0.186, 0.275, 0.311$, 均 $P<0.05$)。水平杯盘比、垂直杯盘比、杯盘面积比、视杯体积与 BCVA 均呈负相关($r=-0.349, -0.353, -0.362, -0.244$, 均 $P<0.05$) (图 2)。其他参数与 BCVA 均无明显相关性 (均 $P>0.05$)。

3 讨论

本研究对屈光参差性弱视、斜视性弱视以及双眼弱视儿童的视网膜厚度和视盘参数进行了评估,并与视力正常儿童的相应眼部参数进行了对比,结果显示,单眼弱视儿童黄斑区中心凹及旁中心凹 RNFL、旁中心凹及周边中心凹 OPL 厚度,以及 cpRNFL 厚度、杯盘比和视杯体积等参数,与正常视力儿童存在显著差异。单眼弱视和双眼弱视之间也存在视网膜形态参数的差异。

关于单眼弱视儿童的视网膜厚度,以往的研究结

表 6 单眼弱视组和双眼弱视组视盘相关参数比较($\bar{x}\pm s$)

Table 6 Comparison of optic disc-related parameters between monocular and binocular amblyopia groups ($\bar{x}\pm s$)

组别	眼数	cpRNFL(μm)				
		平均	上方	鼻侧	下方	颞侧
单眼弱视组	58	110.89 $\pm$ 10.84	131.90 $\pm$ 17.97	74.28 $\pm$ 10.37	128.93 $\pm$ 15.72	81.69 $\pm$ 13.12
双眼弱视组	21	118.31 $\pm$ 11.75	140.54 $\pm$ 15.01	94.46 $\pm$ 33.44	138.77 $\pm$ 19.80	90.08 $\pm$ 15.63
<i>t</i> 值		-1.063	-0.549	-2.898	-2.910	-1.956
<i>P</i> 值		0.292	0.586	0.005	0.005	0.054

组别	眼数	视盘形态参数					
		杯盘面积比	垂直杯盘比	水平杯盘比	盘沿面积(mm^2)	视杯面积(mm^2)	视杯体积(mm^3)
单眼弱视组	58	0.16 $\pm$ 0.14	0.31 $\pm$ 0.20	0.43 $\pm$ 0.24	1.77 $\pm$ 0.44	2.27 $\pm$ 0.46	0.08 $\pm$ 0.10
双眼弱视组	21	0.16 $\pm$ 0.12	0.30 $\pm$ 0.21	0.43 $\pm$ 0.27	2.16 $\pm$ 0.62	2.61 $\pm$ 0.84	0.11 $\pm$ 0.19
<i>t</i> 值		1.010	0.797	1.170	-1.126	-2.034	-2.006
<i>P</i> 值		0.315	0.429	0.245	0.264	0.045	0.049

注:(独立样本 *t* 检验) cpRNFL:视盘周围视网膜神经纤维层
Note: (Independent samples *t*-test) cpRNFL: circumpapillary retinal nerve fiber layer

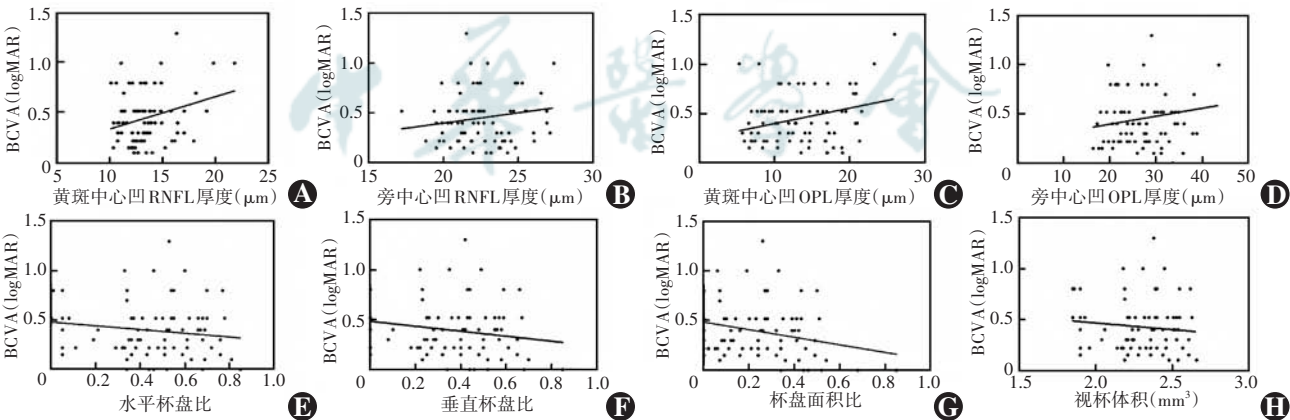


图 2 弱视患者视网膜层厚度和视盘相关参数与 BCVA 的相关性散点图 (Pearson 相关分析, $n=79$) A~D:黄斑中心凹 RNFL 厚度、旁中心凹 RNFL 厚度、中心凹 OPL 厚度、旁中心凹 OPL 厚度与 BCVA 均呈正相关($r=0.413, 0.186, 0.275, 0.311$, 均 $P<0.05$) E~H:水平杯盘比、垂直杯盘比、杯盘面积比、视杯体积与 BCVA 均呈负相关($r=-0.349, -0.353, -0.362, -0.244$, 均 $P<0.05$) BCVA:最佳矫正视力;RNFL:视网膜神经纤维层;OPL:外丛状层

Figure 2 Scatter plots of correlations between retinal layer thickness, optic disc parameters, and BCVA in amblyopic children (Pearson correlation analysis, $n=79$) A~D: Foveal RNFL thickness, parafoveal RNFL thickness, foveal OPL thickness, and parafoveal OPL thickness were positively correlated with BCVA ($r=0.413, 0.186, 0.275, 0.311$; all $P<0.05$) E~H: Horizontal cup-to-disc ratio, vertical cup-to-disc ratio, cup-to-disc area ratio, and cup volume were negatively correlated with BCVA ($r=-0.349, -0.353, -0.362, -0.244$; all $P<0.05$) BCVA: best-corrected visual acuity; RNFL: retinal nerve fiber layer; OPL: outer plexiform layer

果并不一致。一些研究报告称弱视眼的黄斑厚度高于正常眼^[8,16],而另一些研究则指出两者之间没有显著差异^[5,17]。同样,关于视网膜分层厚度的研究结论亦存在分歧。例如,Nishi 等^[6]发现,屈光参差性弱视眼的 OS 较对侧眼明显变薄。Park 等^[7]的研究报告指出,单眼弱视患者双眼黄斑区 GCL+IPL、INL、OPL 和 ONL 之间存在显著差异。Nishikawa 等^[18]对单眼弱视患者的视网膜分层厚度进行了测量,结果发现弱视眼和对侧正常眼黄斑中心凹和旁中心凹区 GCL、INL、中心凹 RNFL、OPL 以及旁中心凹区 IPL 厚度存在显著差异。本研究发现,屈光参差性和斜视性弱视眼旁中心凹和周边中心凹 OPL 厚度均显著高于对照组。在黄斑发育过程中,内层视网膜神经元和内层视网膜组织在 OPL 水平向周围离心性移位,形成黄斑中心凹,而光感受器细胞则向中心凹向心性迁移^[19]。弱视的发生可能干扰这一过程,导致视网膜各层厚度与正常眼相比存在差异。既往研究已经发现,弱视眼存在解剖结构改变的组织学证据,这些改变涉及视皮质和外侧膝状体^[3,20]。视觉通路从视网膜光感受器层一直延伸到视皮质,因此推测视网膜中也可能发生类似的重塑。上述不同研究中涉及的视网膜分层差异可能与弱视的严重程度不同有关,因为本研究发现视网膜分层厚度与视力之间存在弱相关性。

既往有研究评估了单眼弱视眼 cpRNFL 厚度,结果存在差异。有研究发现弱视眼与正常眼 cpRNFL 厚度差异无统计学意义^[21-22];也有研究表明单眼弱视眼的 cpRNFL 更厚^[23-24],亦有研究报道弱视眼 cpRNFL 较正常眼薄^[9]。本研究发现单眼弱视眼的 cpRNFL 厚度低于正常对照眼,且单眼弱视眼的杯盘比和视杯体积降低。Lempert 等^[10]研究发现,弱视眼的视盘面积小于正常眼,并指出视盘面积减少可能导致弱视患者的视觉功能受损。Duranoglu 等^[9]发现,屈光参差性弱视眼的视杯面积和视杯体积低于年龄匹配的对照眼。这与本研究结果相似,即单眼弱视眼的杯盘比和视杯体积低于正常眼,这些参数可能与视力相关。以上研究表明,单眼弱视的视盘形态发生了变化,并且可能在某种程度上与弱视眼视觉功能的下降相关。

本研究未发现双眼弱视患者视网膜形态参数存在异常,由于既往研究未针对该类型弱视开展视网膜参数检测,因此难以进行比较。本研究值得关注的结果是,所有观察到的差异,包括视网膜厚度和视盘参数的变化,均发生于单眼弱视患者,而双眼弱视患者并未发现此类差异。这表明在单眼弱视的发展中,视网膜的参与更为普遍。动物实验结果也表明,单眼视觉剥夺

对初级视皮层的损伤大于双眼视觉剥夺^[25-26]。这说明单眼弱视对初级视皮层和视网膜的影响均大于双眼弱视。因此,弱视相关的视觉中枢与视网膜异常可能密切相关,单眼弱视视网膜形态的异常可能继发于初级视皮层的异常,而双眼弱视的病理机制或涉及更高层次的视皮层。

本研究尚存在以下不足:由于屈光参差性弱视在中国的发病率较高,斜视性弱视和双眼弱视发病率相对较低,因此各样本量存在一定差异;此外,本研究未监测弱视治疗过程中视网膜参数变化,而这一数据的收集有助于确定视力改善与视网膜参数变化之间是否存在相关性。

综上所述,本研究发现,单眼弱视患者多个视网膜分层和视盘参数与正常眼相比存在显著差异,而双眼弱视患者未观察到视网膜形态异常。此外,单眼弱视和双眼弱视患者的视网膜参数之间也存在差异。单眼弱视与双眼弱视病理机制的差异尚需进一步研究来验证。此外,未来研究也应当探讨单眼弱视中观察到的视网膜形态异常是直接由异常的视觉经验引起,还是视皮层损伤的间接结果。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 朱希希:实施研究、采集数据、文章撰写及修改;郑巧岚:实施研究、采集数据;陈洁:统计分析、研究指导、对文章知识性内容作批评性审阅;陈午荷:酝酿和设计试验、数据分析与解释数据、对文章知识性内容作批评性审阅及定稿

参考文献

- [1] Li Y, Sun H, Zhu X, et al. Efficacy of interventions for amblyopia: a systematic review and network meta-analysis [J]. BMC Ophthalmol, 2020, 20(1): 203. DOI: 10.1186/s12886-020-01442-9.
- [2] Lu L, Li Q, Zhang L, et al. Altered cortical morphology of visual cortex in adults with monocular amblyopia [J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 50(5): 1405-1412. DOI: 10.1002/jmri.26708.
- [3] Barnes GR, Li X, Thompson B, et al. Decreased gray matter concentration in the lateral geniculate nuclei in human amblyopes [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2010, 51(3): 1432-1438. DOI: 10.1167/iovs.09-3931.
- [4] 王鸽, 靳雨佳, 庆惠玲, 等. 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 [J]. 中华实验眼科杂志, 2026, 44(4): 353-360. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250917-00304.
- [5] Wang G, Jin YJ, Qing HL, et al. Analysis of macular retinal and choroidal vascular and structural characteristics in patients with hyperopic anisometropic amblyopia [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2026, 44(4): 353-360. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250917-00304.
- [6] 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.
- [7] Nishi T, Ueda T, Hasegawa T, et al. Retinal thickness in children with an isohypermetropic amblyopia [J]. Br J Ophthalmol, 2015, 99(8): 1060-1064. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2014-305685.
- [8] Park KA, Park DY, Oh SY. Analysis of spectral-domain optical coherence tomography measurements in amblyopia: a pilot study [J]. Br

- J Ophthalmol, 2011, 95(12):1700-1706. DOI: 10.1136/bjo.2010.192765.
- [8] Rajavi Z, Sabbaghi H, Behradfar N, et al. Macular thickness in moderate to severe amblyopia[J]. Korean J Ophthalmol, 2018, 32(4):312-318. DOI: 10.3341/kjo.2017.0101.
- [9] Duranoglu Y. Optic nerve head topographic analysis and retinal nerve fiber layer thickness in strabismic and anisometropic amblyopia[J]. Ann Ophthalmol (Skokie), 2007, 39(4):291-295. DOI: 10.1007/s12009-007-9014-z.
- [10] Lempert P. The axial length/disc area ratio in anisometropic hyperopic amblyopia: a hypothesis for decreased unilateral vision associated with hyperopic anisometropia [J]. Ophthalmology, 2004, 111(2):304-308. DOI: 10.1016/j.ophtha.2003.05.020.
- [11] Levi DM, Klein S. Differences in vernier discrimination for grating between strabismic and anisometropic amblyopes[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1982, 23(3):398-407.
- [12] Wong-Kee-You A, Wei H, Hou C. Feature counting under dichoptic viewing in anisometropic and strabismic amblyopia[J]. Transl Vis Sci Technol, 2020, 9(6):13. DOI: 10.1167/tvst.9.6.13.
- [13] 王智, 袁学双, 费志刚, 等. 脑衰反应调节蛋白 2 在单眼视觉剥夺性弱视大鼠视觉皮层的表达[J]. 中华实验眼科杂志, 2019, 37(2):88-92. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.02.003. Wang Z, Yuan XS, Fei ZG, et al. Expression of collapsin response mediator protein 2 in visual cortex of form deprivation amblyopic rats [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2019, 37(2):88-92. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.02.003.
- [14] Chen W, Lou J, Thorn F, et al. Retinal microvasculature in amblyopic children and the quantitative relationship between retinal perfusion and thickness[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2019, 60(4):1185-1191. DOI: 10.1167/iovs.18-26416.
- [15] Chen W, Xu J, Zhou J, et al. Thickness of retinal layers in the foveas of children with anisometropic amblyopia[J/OL]. PLoS One, 2017, 12(3):e0174537 [2025-10-26]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28328978/>. DOI: 10.1371/journal.pone.0174537.
- [16] Bruce A, Pacey IE, Bradbury JA, et al. Bilateral changes in foveal structure in individuals with amblyopia[J]. Ophthalmology, 2013, 120(2):395-403. DOI: 10.1016/j.ophtha.2012.07.088.
- [17] Lekskul A, Wuthisiri W, Padungkiatsagul T. Evaluation of retinal structure in unilateral amblyopia using spectral domain optical coherence tomography[J]. J AAPOS, 2018, 22(5):386-389. DOI: 10.1016/j.jaapos.2018.05.014.
- [18] Nishikawa N, Chua J, Kawaguchi Y, et al. Macular microvasculature and associated retinal layer thickness in pediatric amblyopia: magnification-corrected analyses[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2021, 62(3):39. DOI: 10.1167/iovs.62.3.39.
- [19] Bringmann A, Syrbe S, Gönner K, et al. The primate fovea: structure, function and development[J]. Prog Retin Eye Res, 2018, 66:49-84. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2018.03.006.
- [20] Headon MP, Powell TP. Cellular changes in the lateral geniculate nucleus of infant monkeys after suture of the eyelids[J]. J Anat, 1973, 116(Pt 1):135-145.
- [21] Guagliano R, Barilla D, Bertone C, et al. Evaluation of macular and optic nerve head parameters in amblyopic eyes: an optical coherence tomography study[J]. Eur J Ophthalmol, 2022, 32(4):1991-1996. DOI: 10.1177/11206721211036811.
- [22] Kee SY, Lee SY, Lee YC. Thicknesses of the fovea and retinal nerve fiber layer in amblyopic and normal eyes in children[J]. Korean J Ophthalmol, 2006, 20(3):177-181. DOI: 10.3341/kjo.2006.20.3.177.
- [23] Yoon SW, Park WH, Baek SH, et al. Thicknesses of macular retinal layer and peripapillary retinal nerve fiber layer in patients with hyperopic anisometropic amblyopia[J]. Korean J Ophthalmol, 2005, 19(1):62-67. DOI: 10.3341/kjo.2005.19.1.62.
- [24] Yen MY, Cheng CY, Wang AG. Retinal nerve fiber layer thickness in unilateral amblyopia[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2004, 45(7):2224-2230. DOI: 10.1167/iovs.03-0297.
- [25] Zhou Y, Lai B, Gan WB. Monocular deprivation induces dendritic spine elimination in the developing mouse visual cortex[J]. Sci Rep, 2017, 7(1):4977. DOI: 10.1038/s41598-017-05337-6.
- [26] Baldwin AS, Hess RF. The mechanism of short-term monocular deprivation is not simple: separate effects on parallel and cross-oriented dichoptic masking[J]. Sci Rep, 2018, 8(1):6191. DOI: 10.1038/s41598-018-24584-9.

(收稿日期:2025-11-27 修回日期:2026-06-20)

(本文编辑:施晓萌 骆世平)

读者·作者·编者

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 χ^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 ν ;概率用英文大写 P ;检验水准用 α 。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 χ^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)

