

# 单眼近视患者的视网膜周边离焦状态及相关因素研究

甘露<sup>1\*</sup>, 邓文涛<sup>2\*</sup>, 杨淑萍<sup>3</sup>, 赵武校<sup>1</sup>

引用:甘露,邓文涛,杨淑萍,等.单眼近视患者的视网膜周边离焦状态及相关因素研究.国际眼科杂志,2026,26(4):573-578.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.82360214);广西自然科学基金项目(No.2023GXNSFAA026114)

作者单位:<sup>1</sup>(530021)中国广西壮族自治区南宁市,广西医学科学院广西壮族自治区人民医院;<sup>2</sup>(533000)中国广西壮族自治区百色市,右江民族医学院研究生院;<sup>3</sup>(530021)中国广西壮族自治区南宁市,广西医科大学研究生院

\*:甘露和邓文涛对本文贡献一致。

作者简介:甘露,女,硕士,副主任医师,研究方向:近视防控;邓文涛,男,在读硕士研究生,研究方向:近视防控。

通讯作者:赵武校,男,博士,主任医师,硕士研究生导师,研究方向:眼视光技术. zhaowx1210@163.com

收稿日期:2025-10-31 修回日期:2026-02-26

## 摘要

目的:探讨单眼近视患者的视网膜周边离焦特点及其相关因素。

方法:横断面研究。连续性纳入2023年8月至2025年3月在我院就诊的单眼近视患者。根据等效球镜与裸眼视力分为两组:近视眼组(等效球镜 $\leq -0.50$  D且裸眼视力 $<0.2$  LogMAR)与对侧正常眼组(等效球镜 $\geq -0.25$  D且裸眼视力 $\geq 0$  LogMAR)。比较两组患者全视野内的总离焦值(TRDV), $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 视野内的总离焦值(RDV-15、RDV-30、RDV-45),以及上方、下方、颞侧、鼻侧眼底区域的总离焦值(RDV-S、RDV-I、RDV-T、RDV-N)。

结果:本研究共纳入81例单眼近视患者,近视眼组81眼,对侧正常眼组81眼。其中男42例、女39例,8-12岁47例、13-17岁34例,平均年龄 $11.8 \pm 2.4$ 岁。两组患者TRDV、RDV-30、RDV-45、RDV-I、RDV-S、RDV-N、RDV-T均有差异(均 $P < 0.001$ )。8-12岁和13-17岁患者近视眼组和对侧正常眼组RDV-15比较均无差异(均 $P > 0.05$ )。13-17岁患者中近视眼组和对侧正常眼组RDV-S比较均无差异(均 $P > 0.05$ )。其余参数在8-12岁和13-17岁患者近视眼组和对侧正常眼组间比较均有差异(均 $P < 0.05$ )。Pearson相关分析结果显示近视眼组患者年龄与TRDV( $r = 0.31, P = 0.005$ )、RDV-30( $r = 0.33, P = 0.002$ )、RDV-45( $r = 0.32, P = 0.004$ )、RDV-N( $r = 0.37, P < 0.001$ )呈正相关;对侧正常眼组患者暗瞳直径与TRDV( $r = -0.25, P = 0.03$ )、RDV-45( $r = -0.25, P = 0.02$ )、RDV-S( $r = -0.29, P = 0.008$ )、RDV-N( $r = -0.27, P = 0.014$ )呈负相关;年龄与RDV-N( $r = 0.30, P = 0.006$ )、眼轴与RDV-T( $r = 0.30, P = 0.006$ )呈正相关。

结论:单眼近视患者的近视眼与对侧视力正常眼的视网膜周边离焦状态存在差异,前者呈远视性离焦且离焦量随年龄而增长,后者呈近视性离焦且暗瞳直径越大、近视性离焦量越大。

关键词:近视眼;屈光地形图;周边离焦;暗瞳直径

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.4.04

## Characteristics of retinal peripheral defocus in patients with unilateral myopia

Gan Lu<sup>1\*</sup>, Deng Wentao<sup>2\*</sup>, Yang Shuping<sup>3</sup>, Zhao Wuxiao<sup>1</sup>

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (No. 82360214); Natural Science Foundation of Guangxi Zhuang Autonomous Region (No.2023GXNSFAA026114)

<sup>1</sup>Guangxi Academy of Medical Sciences, the People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China; <sup>2</sup>Youjiang Medical University for Nationalities Graduate School, Baise 533000, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China; <sup>3</sup>Guangxi Medical University Graduate School, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

\* Co-first authors: Gan Lu and Deng Wentao

Correspondence to: Zhao Wuxiao. Guangxi Academy of Medical Sciences, the People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China. zhaowx1210@163.com

Received:2025-10-31 Accepted:2026-02-26

## Abstract

• AIM: To investigate the features of retinal peripheral defocus and its associated variables in unilateral myopia.

• METHODS: This cross-sectional study included consecutive anisometric myopic patients who visited Center for Optometry and Visual Science from August 2023 to March 2025 in Guangxi Zhuang Autonomous Region. Eyes were classified based on spherical equivalent (SE) and uncorrected visual acuity (UCVA): myopic eyes (SE  $\leq -0.50$  D, UCVA  $<0.2$  LogMAR) and contralateral normal eyes (SE  $\geq -0.25$ , UCVA  $\geq 0$  LogMAR). Total relative defocus value (TRDV) across the visual field, RDV at  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ , and  $45^\circ$  (RDV-15, RDV-30, RDV-45), and quadrant-specific RDV (superior/RDV-S, inferior/RDV-I, temporal/RDV-T, nasal/RDV-N) were compared between groups.

• RESULTS: This study enrolled 81 anisometric patients (81 myopic eyes, 81 contralateral normal eyes). The cohort comprised 42 males and 39 females, 47 patients aged 8-12 y and 34 patients aged 13-17 y (mean age:  $11.8 \pm 2.4$  y). Myopic eyes demonstrated significantly higher values in TRDV, RDV-30, RDV-45, RDV-I, RDV-S, RDV-N, and RDV-T versus contralateral normal eyes (all

$P < 0.001$ ). RDV-15 showed no significant difference between groups in either 8-12-year-olds or 13-17-year-olds (both  $P > 0.05$ ). Among 13-17-year-olds, RDV-S also exhibited no intergroup difference ( $P > 0.05$ ). All other parameters differed significantly across both age strata (all  $P < 0.05$ ). In myopic eyes, age positively correlated with TRDV ( $r = 0.31, P = 0.005$ ), RDV-30 ( $r = 0.33, P = 0.002$ ), RDV-45 ( $r = 0.32, P = 0.004$ ), and RDV-N ( $r = 0.37, P < 0.001$ ). In contralateral eyes, scotopic pupil diameter negatively correlated with TRDV ( $r = -0.25, P = 0.03$ ), RDV-45 ( $r = -0.25, P = 0.02$ ), RDV-S ( $r = -0.29, P = 0.008$ ), and RDV-N ( $r = -0.27, P = 0.014$ ). And age positively correlated with RDV-N ( $r = 0.30, P = 0.006$ ), axial length positively correlated with RDV-T ( $r = 0.30, P = 0.006$ ).

• **CONCLUSION:** The peripheral defocus of unilateral myopic eyes varies from that of their contralateral normal counterparts. The former presents hyperopic defocus, which augments with age, while the latter displays myopic defocus, which accentuates with the increase of the scotopic pupil size.

• **KEYWORDS:** myopia; refractive topography; peripheral defocus; scotopic pupil diameter

**Citation:** Gan L, Deng WT, Yang SP, et al. Characteristics of retinal peripheral defocus in patients with unilateral myopia. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2026,26(4):573-578.

## 0 引言

近视是全球性公共卫生问题,其发病机制与防控策略一直是学术研究热点。其中,源自动物实验的视网膜周边离焦学说被认为是驱动眼轴增长、近视进展的机制之一<sup>[1-2]</sup>。既往针对不同屈光状态人眼视网膜周边离焦的量化多在散瞳状态下,采用开放视窗的自动电脑验光仪,如 open-field Shin-Nippon 设备或 Grand Seiko WR-5100K 设备对水平或垂直视野的视网膜周边离焦量( $15^\circ - 40^\circ$ )进行测量<sup>[3-5]</sup>。而涉及单眼近视患者视网膜周边离焦研究的报告则较缺乏<sup>[6]</sup>。众所周知,光学机制调控人眼的正视化过程。但在视网膜周边离焦方面,单眼近视患者除双眼间正视化进程差异外还伴随哪些特点尚不明确。本研究将采用自身对照设计,借助多光谱屈光地形图(multi-spectral refractive topography, MRT)对单眼近视患者视网膜周边离焦量进行精确测量评估,以此探索近视眼与对侧正常视力眼在视网膜周边离焦方面的光学差异。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 横断面研究。采用在线网站 <https://mengte.online>、配对  $t$  检验计算样本量,设定统计效能  $\text{power}(1-\beta)$  为 0.9,双侧检验,  $\alpha$  为 0.05,根据预试验结果,单眼近视患者颞侧眼底区域的总离焦值(RDV-N)近视眼均值  $\mu_1$  为 0.683、对侧视力正常眼均值  $\mu_0$  为 0.299,近视眼组标准差  $\sigma$  为 0.723,  $t_{\alpha/2} = 2.023, t_{\beta} = 1.304$ ,计算得样本量为 45 例。连续性纳入 2023 年 8 月至 2025 年 3 月在我院就诊的单眼近视患者 81 例,近视诊断标准参照国际近视研究院的定义<sup>[7]</sup>。纳入标准:(1)近视眼等效球镜  $\leq -0.50$  D,对侧眼  $-0.25$  D  $\leq$  等效球镜  $\leq +1.25$  D,所有眼的散光量为  $0 - -1.50$  D;(2)年龄  $\geq 8$  岁;(3)近视眼裸眼视力

$< 0.2$  LogMAR、对侧眼裸眼视力  $\geq 0$  LogMAR。排除标准:(1)存在屈光介质混浊及眼底病变者;(2)暗瞳直径  $< 6$  mm者;(3)伴有上睑下垂、斜视及眼部活动性炎症者;(4)多光谱屈光地形图检测数据综合置性度  $< 90\%$ 者。根据等效球镜与裸眼视力分为两组:近视眼组(等效球镜  $\leq -0.50$  D且裸眼视力  $< 0.2$  LogMAR)与对侧正常眼组(等效球镜  $\geq -0.25$  D且裸眼视力  $\geq 0$  LogMAR)。本研究过程遵循《赫尔辛基宣言》并获得广西壮族自治区人民医院伦理委员会的批准(编号:伦理-KY-GZR-2023-062)。参加本研究前所有参与者及监护人均知情同意。

**1.2 方法** 所有患者均接受视光学科的专科检查,包括视力、裂隙灯显微镜、光学生物测量仪 Lenstar 900 检查眼轴、眼压、眼底检查、暗瞳与角膜地形图以及散瞳验光检查。视网膜周边离焦量检测:暗室内适应 10 min,然后采用多光谱屈光地形图按先右后左的顺序依次进行单眼检测,嘱患者被测眼盯住绿色固视标、并保持睁眼状态以满足“快速扫描”模式下多光谱屈光地形图的拍摄要求。每眼至少采集 3 次,选取眼底图像清晰无反光、瞳孔对正且图像综合置性度最高的一次多光谱屈光地形图图像进行保存。随后提取被检眼的离焦状态数据,涉及离焦趋势图、立体图、相对区域均值图、离焦曲线图及统计图参数等数据。本研究将提取统计图中的全视野内的总离焦值(TRDV),  $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 视野内的总离焦值(RDV-15、RDV-30、RDV-45),以及上方、下方、颞侧、鼻侧眼底区域的总离焦值(RDV-S、RDV-I、RDV-T、RDV-N)用于统计分析(图 1)。

统计学分析:采用 Prism 9.3.1 软件进行统计分析。使用 Kolmogorov-Smirnov 检验数据的分布特征,符合正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  形式表示,两组间采用配对样本  $t$  检验;两组不同视野视网膜周边离焦量比较采用单因素方差分析,多重比较采用 Bonferroni 检验(校正后的检验水准  $\alpha' = 0.017$ );采用 Pearson 线性相关分析相关性,双侧检验,以  $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 近视眼组和对侧正常眼组患者一般资料比较** 本研究共纳入 81 例单眼近视患者,近视眼组 81 眼,对侧正常眼组 81 眼。其中男 42 例、女 39 例,8-12 岁 47 例、13-17 岁 34 例,平均年龄  $11.8 \pm 2.4$  岁。双眼间在裸眼视力、等效球镜、眼轴、平坦 K 比较差异均有统计学意义( $P < 0.001$ );眼压、陡峭 K 以及暗瞳直径比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表 1。

**2.2 近视眼组和对侧正常眼组患者视网膜周边离焦量比较** 近视眼组和对侧正常眼组患者除 RDV-15 比较差异无统计学意义之外( $P > 0.05$ ),其余参数比较差异均有统计学意义( $P < 0.001$ ),见表 2。沿水平视野(颞侧和鼻侧)及垂直视野(上方和下方)近视眼组和对侧正常眼组患者视网膜周边离焦量均表现出非对称性,见图 2。两组患者 RDV-15、RDV-30、RDV-45 比较差异均有统计学意义(近视眼组:  $F = 24.223, P < 0.001$ ;对侧正常眼组:  $F = 10.194, P < 0.001$ ),进一步两两比较结果见图 3。结果显示:随着视野周边化,近视眼组患者由近视性离焦向远视性离焦转变,对侧正常眼患者近视性离焦有所增加并趋于稳定。

2.3 不同年龄近视眼组和对侧正常眼组患者视网膜周边离焦量比较 8-12岁和13-17岁患者近视眼组和对侧正常眼组 RDV-15 比较差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 13-17岁患者中近视眼组和对侧正常眼组 RDV-S 比较差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 其余参数在8-12岁和13-17岁患者近视眼组和对侧正常眼组间比较差异均有统计意义 ( $P<0.05$ ), 见表3、4。

2.4 近视眼组和对侧正常眼组患者视网膜周边离焦量与一般资料相关性分析 Pearson 相关分析结果显示近视眼组患者年龄与 TRDV ( $r = 0.31, P = 0.01$ )、RDV-30 ( $r =$

$0.33, P = 0.002$ )、RDV-45 ( $r = 0.32, P = 0.004$ )、RDV-N ( $r = 0.37, P < 0.001$ ) 呈正相关, 等效球镜、眼轴、眼压、角膜曲率(平坦K、陡峭K)、暗瞳直径与视网膜周边离焦量均无相关性(表5); 对侧正常眼组患者暗瞳直径与 TRDV ( $r = -0.25, P = 0.03$ )、RDV-45 ( $r = -0.25, P = 0.02$ )、RDV-S ( $r = -0.29, P = 0.008$ )、RDV-N ( $r = -0.27, P = 0.014$ ) 呈负相关; 年龄与 RDV-N ( $r = 0.30, P = 0.006$ )、眼轴与 RDV-T ( $r = 0.30, P = 0.006$ ) 呈正相关, 等效球镜、眼压、角膜曲率(平坦K、陡峭K)与视网膜周边离焦量无相关性(表6)。

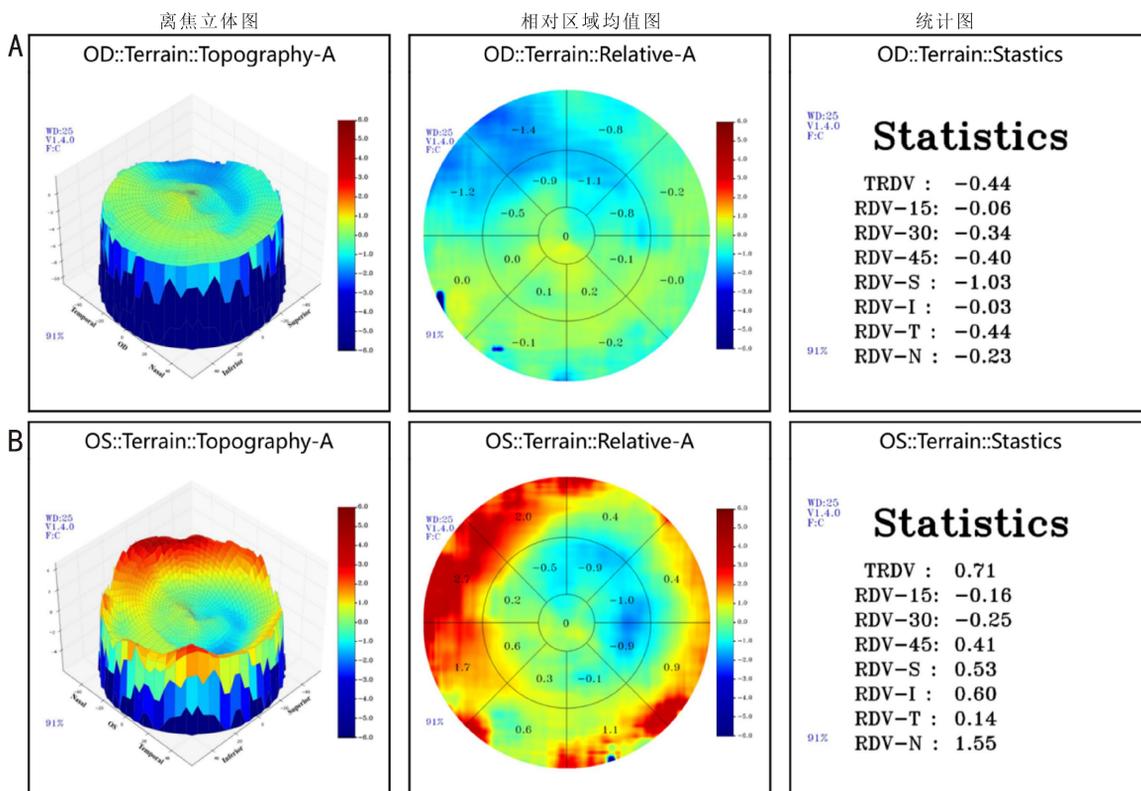


图1 单眼近视患者双眼多光谱屈光地形图输出报告 A:对侧正常眼组(呈近视性离焦);B:近视眼组(呈远视性离焦)。

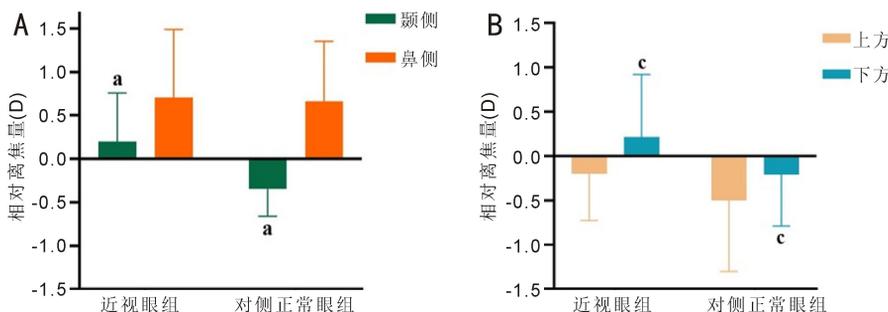


图2 近视眼组和对侧正常眼组患者在水平和垂直视野视网膜周边离焦量比较 A:水平视野;B:垂直观野; <sup>a</sup> $P<0.05$  vs 鼻侧; <sup>c</sup> $P<0.05$  vs 上方。

表1 近视眼组和对侧正常眼组患者一般资料比较

分组	眼数	裸眼视力 (LogMAR)	等效球镜(D)	眼轴(mm)	眼压(mmHg)	平坦K(D)	陡峭K(D)	暗瞳直径(mm)
近视眼组	81	0.61±0.23	-1.64±1.10	24.42±0.90	15.45±2.72	42.70±1.30	43.73±1.40	7.03±0.71
对侧正常眼组	81	-0.06±0.07	0.49±0.48	23.60±0.71	15.34±2.48	42.54±1.34	43.71±1.45	6.99±0.67
<i>t</i>		25.08	17.12	14.00	0.385	3.744	0.409	1.054
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	0.386	<0.001	0.386	0.224

注:近视眼组为等效球镜 $\leq -0.50$  D且裸眼视力 $<0.2$  LogMAR;对侧正常眼组为等效球镜 $\geq -0.25$  D且裸眼视力 $\geq 0$  LogMAR。

表2 近视眼组和对侧正常眼组患者视网膜周边离焦量比较 ( $\bar{x}\pm s, D$ )

分组	眼数	TRDV	RDV-15	RDV-30	RDV-45
近视眼组	81	0.227±0.403	-0.057±0.048	-0.042±0.154	0.148±0.324
对侧正常眼组	81	-0.190±0.369	-0.062±0.073	-0.188±0.167	-0.185±0.167
<i>t</i>		7.588	0.541	6.154	7.492
<i>P</i>		<0.001	0.074	<0.001	<0.001

分组	眼数	RDV-S	RDV-I	RDV-T	RDV-N
近视眼组	81	-0.198±0.529	0.214±0.706	0.201±0.558	0.707±0.784
对侧正常眼组	81	-0.498±0.804	-0.208±0.580	-0.347±0.664	0.314±0.689
<i>t</i>		3.525	5.542	6.539	4.485
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:近视眼组为等效球镜 $\leq -0.50 D$ 且裸眼视力 $<0.2 \text{ LogMAR}$ ;对侧正常眼组为等效球镜 $\geq -0.25 D$ 且裸眼视力 $\geq 0 \text{ LogMAR}$ 。

表3 8-12岁近视眼组和对侧正常眼组患者视网膜周边离焦量比较 ( $\bar{x}\pm s, D$ )

分组	眼数	TRDV	RDV-15	RDV-30	RDV-45
近视眼组	47	0.157±0.406	-0.053±0.049	-0.060±0.154	0.095±0.326
对侧正常眼组	47	-0.170±0.397	-0.050±0.072	-0.170±0.186	0.163±0.338
<i>t</i>		4.933	0.324	3.170	4.539
<i>P</i>		<0.001	0.189	<0.001	<0.001

分组	眼数	RDV-S	RDV-I	RDV-T	RDV-N
近视眼组	47	-0.220±0.588	0.111±0.715	0.196±0.570	0.548±0.665
对侧正常眼组	47	-0.582±0.741	-0.086±0.597	-0.157±0.582	0.159±0.665
<i>t</i>		3.163	2.622	3.493	3.593
<i>P</i>		<0.001	0.003	<0.001	<0.001

注:近视眼组为等效球镜 $\leq -0.50 D$ 且裸眼视力 $<0.2 \text{ LogMAR}$ ;对侧正常眼组为等效球镜 $\geq -0.25 D$ 且裸眼视力 $\geq 0 \text{ LogMAR}$ 。

表4 13-17岁近视眼组和对侧正常眼组患者视网膜周边离焦量比较 ( $\bar{x}\pm s, D$ )

分组	眼数	TRDV	RDV-15	RDV-30	RDV-45
近视眼组	34	0.329±0.379	-0.052±0.052	-0.002±0.133	0.237±0.293
对侧正常眼组	34	-0.090±0.400	-0.061±0.075	-0.162±0.176	-0.104±0.329
<i>t</i>		5.965	1.388	6.827	6.492
<i>P</i>		<0.001	0.174	<0.001	<0.001

分组	眼数	RDV-S	RDV-I	RDV-T	RDV-N
近视眼组	34	-0.037±0.541	0.250±0.658	0.316±0.595	0.816±0.680
对侧正常眼组	34	-0.332±0.888	-0.160±0.718	-0.328±0.683	0.450±0.643
<i>t</i>		1.728	5.879	6.228	2.670
<i>P</i>		0.093	<0.001	<0.001	0.006

注:近视眼组为等效球镜 $\leq -0.50 D$ 且裸眼视力 $<0.2 \text{ LogMAR}$ ;对侧正常眼组为等效球镜 $\geq -0.25 D$ 且裸眼视力 $\geq 0 \text{ LogMAR}$ 。

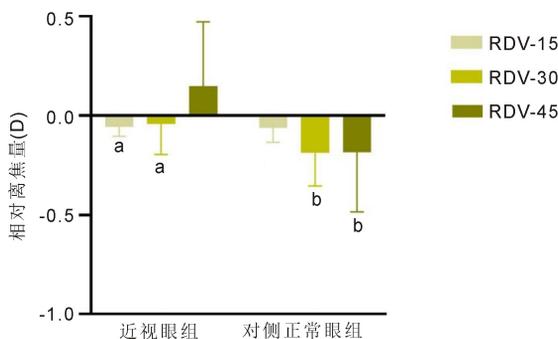


图3 近视眼组和对侧正常眼组患者 RDV-15 和 RDV-30 及 RDV-45 比较 <sup>a</sup> $P < 0.017$  vs 近视眼组 RDV-45; <sup>b</sup> $P < 0.017$  vs 对侧正常眼组 RDV-15。

### 3 讨论

在近视发病机制研究领域,视网膜周边离焦学说是重要学术热点和焦点。相关研究除常规测量视轴(on-axis)的光学特性之外,评估视网膜周边离焦状态同样具有临床价值。本研究选择单眼近视患者,着眼于同一个体双眼间的屈光状态及视力差异,旨在探讨近视眼与对侧视力正常眼之间的视网膜周边离焦特点,以期对近视防控决策提供临床证据。

本研究进行组间 MRT 参数均值比较发现,近视眼与对侧视力正常眼在  $15^\circ$  视野内的视网膜总离焦量(RDV-15)无显著差异,其余 MRT 参数均值都有明显差异。而采用年龄分层分析发现:8-12岁与13-17岁对侧视力正常眼的多项 MRT 参数值相较于近视眼均呈现出更

表 5 近视眼组患者视网膜周边离焦量与一般资料相关性分析

指标	年龄		等效球镜		眼轴		眼压		平坦 K		陡峭 K		暗瞳直径	
	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P
TRDV	0.31	0.01	0.04	0.72	-0.02	0.86	0.08	0.48	-0.02	0.83	-0.01	0.94	0.13	0.25
RDV-15	-0.02	0.84	0.07	0.54	0.01	0.95	-0.02	0.88	0.03	0.79	0.01	0.91	0.12	0.28
RDV-30	0.33	0.002	-0.10	0.39	0.09	0.43	0.01	0.95	-0.03	0.77	0.02	0.88	0.13	0.25
RDV-45	0.32	0.004	0.01	0.92	-0.01	0.95	0.05	0.66	-0.03	0.82	0.00	0.96	0.11	0.33
RDV-S	0.17	0.13	-0.01	0.94	0.06	0.61	0.00	0.97	-0.12	0.31	-0.07	0.53	0.01	0.95
RDV-I	0.17	0.14	0.03	0.78	-0.02	0.86	0.10	0.36	0.04	0.75	0.02	0.88	0.12	0.28
RDV-T	0.06	0.58	0.02	0.88	0.04	0.75	-0.05	0.65	-0.11	0.35	-0.13	0.24	0.20	0.08
RDV-N	0.37	<0.001	0.02	0.84	-0.09	0.41	0.10	0.37	0.08	0.49	0.12	0.27	0.01	0.96

表 6 对侧正常眼组患者视网膜周边离焦量与一般资料相关性分析

指标	年龄		等效球镜		眼轴		眼压		平坦 K		陡峭 K		暗瞳直径	
	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P
TRDV	0.12	0.30	-0.15	0.17	0.12	0.29	-0.11	0.33	-0.14	0.22	-0.15	0.17	-0.25	0.03
RDV-15	-0.02	0.86	0.08	0.50	-0.04	0.74	0.21	0.07	0.04	0.74	-0.01	0.95	-0.05	0.65
RDV-30	0.07	0.51	-0.10	0.39	0.03	0.76	0.03	0.76	-0.08	0.48	-0.12	0.28	-0.18	0.10
RDV-45	0.12	0.31	-0.15	0.19	0.10	0.35	-0.10	0.40	-0.13	0.26	-0.15	0.18	-0.25	0.02
RDV-S	0.15	0.17	0.04	0.70	-0.07	0.53	-0.05	0.64	-0.01	0.91	-0.08	0.49	-0.29	0.008
RDV-I	-0.05	0.67	-0.22	0.05	0.21	0.06	-0.05	0.66	-0.14	0.21	-0.10	0.40	-0.06	0.60
RDV-T	-0.20	0.07	-0.19	0.10	0.30	0.006	0.03	0.81	-0.17	0.13	-0.18	0.10	0.14	0.21
RDV-N	0.30	0.006	-0.01	0.93	-0.13	0.25	-0.15	0.18	0.00	1.00	0.02	0.83	-0.27	0.014

趋向近视性离焦的相同特征。进一步将测量的视网膜周边离焦数据可视化发现:近视眼呈远视性离焦特征,对侧视力正常眼呈近视性离焦特征。该结果与既往观点相似,即沿着水平视野,远视眼和正视眼的周边屈光度相对近视,而近视眼的周边区域则相对远视<sup>[8-9]</sup>。与上述研究方法不同的是,本研究采用 MRT 对单眼近视患者进行周边离焦度快速测量发现,在近视眼,在 15°、30°、45°视野对应的视网膜周边离焦量逐步呈现远视性离焦变化趋势;而在对侧视力正常眼则基本保持近视性离焦状态——这进一步表明近视眼与视力正常眼之间存在不同的视网膜周边离焦特征。Ehsaei 等<sup>[9]</sup>采用 NVision K-5001 在 30°视野内采集四条径线(水平、垂直、左右斜轴)上的视网膜周边离焦数据,也发现近视眼在各径线上均呈远视性离焦特征,但正视眼在各径线上的视网膜周边离焦数据均无明显差异,推测这与近视眼的视网膜形状呈椭球形、正视眼的视网膜形状呈球形有关。

本研究对各组内视网膜周边离焦量的对称性进行分析发现:不仅在水平视野上视网膜周边离焦在近视眼、对侧视力正常眼存在鼻、颞侧非对称性(nasal-temporal asymmetry),在垂直视野上,视网膜周边离焦在近视眼、对侧视力正常眼也存在上、下方非对称性(superior-inferior asymmetry)。这些径线上的非对称性至少可由视网膜表面形态得到部分解释<sup>[10]</sup>,即近视眼的视网膜表面形态呈扁长形(prolate)、远视眼/正视眼的形态近似扁圆或球形(oblate/sphere),并且视网膜在鼻、颞侧及上、下方的陡峭程度会有所不同。既往已有视网膜周边离焦方面的多项研究报告了人眼在水平、垂直视野上的非对称性<sup>[3-4,11-12]</sup>。其中 Chen 等<sup>[4]</sup>的研究提示远视眼在垂直视野上呈非对称性,而正视眼则无此特点。

需要指出的是,不同于上述<sup>[3-4,11-12]</sup>在散瞳状态下测量视网膜周边离焦量,本研究数据均源于自然瞳孔状态下的客观测量。在自然瞳孔下测量,虽预先安排每例患者暗适应 10 min,但对侧正视眼可能存在调节,而近视眼可能处于调节放松状态。前期研究发现调节可影响近视患者视网膜周边离焦量<sup>[13-14]</sup>,故而这种双眼调节状态的差异可能会导致周边离焦模式不同。本研究观察到对侧视力正常眼呈近视性离焦,这可能部分由调节张力引起。这为将来研究控制或测量调节对视网膜周边离焦量的影响提供了一个重要思考方向。

本研究进行的组内相关分析结果显示:近视眼组年龄与 TRDV、RDV-30、RDV-45、RDV-N 呈正相关。这表明随着年龄的增长,近视眼的视网膜周边离焦量会相应增加,但这一关联却是独立于近视眼的等效球镜或眼轴等参数。既往在水平视野方向上针对近视儿童视网膜周边离焦进行的队列研究也提示:随访期间,近视眼的远视性离焦会明显增加,但视网膜周边离焦量与近视度数、近视进展并无相关性<sup>[3,15-16]</sup>。与上述亚太地区研究结果不同,Leighton 等<sup>[17]</sup>基于散瞳状态下 Shin-Nippon NVision-K 5001 采集的纵向数据显示:欧洲白种近视儿童鼻侧视网膜呈远视性周边离焦,提示其眼轴快速增长的风险升高(鼻侧视网膜每增加 1 D 的相对周边远视度数,眼轴年增长量将额外增加 0.10 mm)。该指标可作为近视管理决策的参考依据。本文与既往研究之间的区别在于本研究所分析的视网膜周边离焦数据是在自然瞳孔状态下采集的,且涉及更多的视野维度,故而研究结果客观性更强。本研究还发现:暗瞳直径在患者双眼间并无明显差异;在近视眼,暗瞳直径与视网膜周边离焦量无关;但在对侧正常眼,暗瞳直径与 TRDV、RDV-45、RDV-S、RDV-N 呈负相关。

单眼近视患者双眼间的这一模式差异提示光学调控机制可能在对侧正常眼的生长发育中扮演特殊作用。将来的纵向研究可能发现关于瞳孔直径、视网膜周边离焦与人眼正视化进程方面的更多线索。

本文主要探讨了单眼近视患者双眼的视网膜周边离焦特征,而近视眼与对侧正常眼彼此间的视网膜周边离焦度差异将为近视防控工作提供参考价值。光学离焦理论在近视人群中的转化应用已颇受关注<sup>[18-22]</sup>;考虑到近视眼视网膜曲率存在显著的个体解剖差异,量身定制的策略有望提升近视的光学干预疗效<sup>[23]</sup>。关于视网膜周边离焦的“边界问题”——视网膜周边离焦范围多大(location)、离焦量多少(degree)才会有效,以及是否会因为离焦图像太模糊(blur)而无效,均有待深入探究。

综上所述,本研究发现,单眼近视患者双眼间的视网膜周边离焦存在差异——近视眼呈现远视性离焦特征、对侧正常眼呈现近视性离焦特征;在水平视野和垂直视野,近视眼、对侧正常眼的视网膜周边离焦量均表现出非对称性。

**利益冲突声明:**本文不存在利益冲突。

**作者贡献声明:**甘露、邓文涛论文选题与初稿撰写;杨淑萍文献检索,数据分析,论文修改;赵武校选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

#### 参考文献

[1] Smith EL 3rd, Kee CS, Ramamirtham R, et al. Peripheral vision can influence eye growth and refractive development in infant monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2005,46(11):3965-3972.

[2] Smith EL, Hung LF, Huang J, et al. Effects of local myopic defocus on refractive development in monkeys. *Optom Vis Sci*, 2013,90(11):1176-1186.

[3] Sng CC, Lin XY, Gazzard G, et al. Change in peripheral refraction over time in Singapore Chinese children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011,52(11):7880-7887.

[4] Chen X, Sankaridurg P, Donovan L, et al. Characteristics of peripheral refractive errors of myopic and non-myopic Chinese eyes. *Vision Res*, 2010,50(1):31-35.

[5] Jakobsen TM, Søndergaard AP, Møller F. Peripheral refraction, relative peripheral refraction, and axial growth: 18-month data from the randomised study-clinical study of Near-sightedness; treatment with Orthokeratology Lenses (CONTROL study). *Acta Ophthalmol*, 2023,101(1):e69-e80.

[6] Chen JH, He JC, Chen YY, et al. Interocular difference of peripheral refraction in anisomyopic eyes of schoolchildren. *PLoS One*, 2016,11(2):e0149110.

[7] Sankaridurg P, Tahhan N, Kandel H, et al. IMI impact of myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021,62(5):2.

[8] Wang SD, Lin ZH, Xi XY, et al. Two-dimensional, high-resolution peripheral refraction in adults with isomyopia and anisomyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020,61(6):16.

[9] Ehsaei A, Mallen EA, Chisholm CM, et al. Cross-sectional sample of peripheral refraction in four meridians in myopes and emmetropes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011,52(10):7574-7585.

[10] Verkicharla PK, Mathur A, Mallen EA, et al. Eye shape and retinal shape, and their relation to peripheral refraction. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2012,32(3):184-199.

[11] Atchison DA, Pritchard N, Schmid KL. Peripheral refraction along the horizontal and vertical visual fields in myopia. *Vision Res*, 2006,46(8-9):1450-1458.

[12] Osuagwu UL, Suheimat M, Atchison DA. Peripheral aberrations in adult hyperopes, emmetropes and myopes. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2017,37(2):151-159.

[13] 甘露,邓文涛,王季芳,等.调节对近视患者视网膜周边离焦量的影响. *国际眼科杂志*, 2025,25(12):1914-1918.

[14] Lu WC, Peng ZS, Ding WZ, et al. The influence of accommodation on retinal peripheral refraction changes in different measurement areas. *J Ophthalmol*, 2023,2023:5553468.

[15] Atchison DA, Li SM, Li H, et al. Relative peripheral hyperopia does not predict development and progression of myopia in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015,56(10):6162-6170.

[16] Lee TT, Cho P. Relative peripheral refraction in children: twelve-month changes in eyes with different ametropias. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2013,33(3):283-293.

[17] Leighton RE, Breslin KM, Richardson P, et al. Relative peripheral hyperopia leads to greater short-term axial length growth in White children with myopia. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2023,43(5):985-996.

[18] Kou J, Wu Y, Lei S, et al. Myopia control efficacy of individualised ocular refraction customisation spectacle lenses: a 2-year follow-up study. *Ophthalmic Physiologic Optic*, 2025,45(7):1882-1893.

[19] Pusti D, Patel NB, Ostrin LA, et al. Peripheral choroidal response to localized defocus blur: influence of native peripheral aberrations. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2024,65(4):14.

[20] Zhang HY, Lam CSY, Tang WC, et al. Changes in relative peripheral refraction in children who switched from single-vision lenses to Defocus Incorporated Multiple Segments lenses. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2023,43(3):319-326.

[21] Xu MY, Yang YX, Zhang FJ, et al. Correlation between relative peripheral refraction and efficacy of myopia control after wearing multifocal soft contact lenses in children. *Ophthalmol Ther*, 2025,14(4):755-771.

[22] Lawrenson JG, Huntjens B, Virgili G, et al. Interventions for myopia control in children: a living systematic review and network meta-analysis. *Cochrane Database Syst Rev*, 2025,2(2):CD014758.

[23] Kneepkens SCM, van Vught L, Polling JR, et al. A novel MRI-based approach to peripheral refraction and prediction of myopia progression. *Am J Ophthalmol*, 2025,278:239-249.