

·临床研究·

## 多光谱屈光地形图在低度屈光不正儿童中的 可重复性和一致性

叶桂彤, 曾骏文, 杨 晓, 李周越

(中山大学中山眼科中心眼科学国家重点实验室, 广东广州 510060)

**摘 要:**【目的】评估睫状肌麻痹下多光谱屈光地形图(MRT)在儿童视网膜屈光测量的可重复性和一致性。【方法】纳入8~10岁的学龄儿童,睫状肌麻痹后进行客观验光和眼轴长度测量;由同一检查者采用MRT重复进行两次视网膜屈光测量。视网膜屈光度和相对屈光度用视网膜偏差值(RDV)和相对视网膜偏差值(RRDV)表示。采用秩和检验,组内相关系数(ICC)和95%一致性极限(LoA)比较测量间的重复性和一致性。【结果】本研究共纳入146名儿童,平均年龄(9.22±0.61)岁。MRT与自动验光仪中央测量重复性ICC=0.94(95%CI=[0.92, 0.96]);周边视网膜偏差值(RDV)从中央到周边各区域重复性良好,最小ICC=0.93(95%CI=[0.91, 0.95]),测量差异均无统计学意义(所有 $P>0.05$ )。相对视网膜偏差值(RRDV)在中央30°内可重复性下降,最小ICC=0.37(95%CI=[0.12, 0.54]),30°以外可重复性有所提高,最小ICC=0.87(95%CI=[0.81, 0.90])。RRDV所有参数连续两次测量结果差异均没有统计学意义(所有 $P>0.05$ )。【结论】在低度屈光不正的学龄儿童中,采用MRT测量视网膜周边屈光在同一检查者连续两次测量值具有极佳的可重复性,中央屈光与客观电脑验光仪有良好且稳定的一致性。

**关键词:**视网膜周边屈光;重复性;一致性

中图分类号:R778.1+1

文献标志码:A

文章编号:1672-3554(2022)05-0772-09

DOI:10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ(med.sci).2022.0511

## Repeatability and Agreement of Multispectral Refraction Topography in School Children with Mild Refractive Error

YE Gui-tong, ZENG Jun-wen, YANG Xiao, LI Zhou-yue

(State Key Laboratory of Ophthalmology, Zhongshan Ophthalmic Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510060, China)

Correspondence to: YANG Xiao, E-mail: yangx\_zoc@163.com; LI Zhou-yue, E-mail: 583390741@qq.com

**Abstract:**【Objective】To evaluate the repeatability and agreement of multispectral refraction tomography (MRT, Thondar, Shenzhen, China) in measuring retinal refraction under cycloplegic condition in children.【Methods】Children aged 8 to 10 years were recruited. Objective refraction and axial length measurements were performed after sufficient paralysis. Retinal refraction was measured twice by one examiner using MRT. The retinal deviation value (RDV) and relative retinal deviation value (RRDV) were used to describe retinal refraction and relative retinal refraction. Wilcoxon Signed Rank Test, the intraclass correlation coefficient (ICC) and 95% limits of agreements (LoA) were used to evaluate the repeatability and agreement between two consecutive measurements and between MRT and autorefractor.【Results】A total of 146 children with mean age of 9.22±0.61 years were enrolled. Central refraction between auto refractor and MRT showed good agreement, with an ICC value of 0.94, (95%CI [0.92, 0.96]). RDV provided excellent repeatability, with lowest ICC value of 0.93 (95%CI=[0.91, 0.95]). The RRDV demonstrated descending ICC value within 30° eccentricity (lowest

收稿日期:2022-06-07

基金项目:国家自然科学基金(81900899);国家自然科学基金重点研发计划子项目(2020YFC2003800)

作者简介:叶桂彤,硕士生,研究方向:近视,E-mail:yegt3@mail2.sysu.edu.cn;杨晓,通信作者,E-mail: yangx\_zoc@163.com;李周越,通信作者,E-mail: 583390741@qq.com

ICC=0.37, 95%CI= [0.12, 0.54] in RDV-15) and showed good repeatability beyond 30° (lowest ICC = 0.87 (95%CI= [0.81, 0.90]). Neither RDV nor RRDV showed statistically significant differences between measurements. (All  $P>0.05$ )

【Conclusion】MRT provides repeatable measurements of retinal peripheral refraction under cycloplegic conditions in schoolchildren with mild refractive error.

**Key words:** retinal peripheral refraction; repeatability; agreement

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci), 2022, 43(5): 772-780]

周边离焦理论被认为是近视进展的发生机制之一。周边屈光度和屈光发育具有密切联系<sup>[1]</sup>。早期的动物实验证据发现,对猴眼施加负镜片诱导远视性离焦刺激,可以使猴子产生近视<sup>[2-3]</sup>,施加正镜片诱导近视性离焦刺激,可以使猴子产生远视<sup>[4]</sup>;基于离焦学说的光学干预,如多焦点软镜<sup>[5]</sup>和角膜塑形镜<sup>[6]</sup>,已被证明可以成功延缓轴30%至55%的眼轴增长<sup>[7]</sup>。然而,也有观点认为,相对周边远视性离焦与儿童近视的发生与发展没有必然的因果关系<sup>[8]</sup>。周边屈光度和眼球发育之间的确切关系尚未阐明,其中一个原因可能是人眼周边屈光测量技术的误差和限制。既往测量周边屈光度的方法包括检眼镜,双通技术、和像差测量仪等<sup>[9]</sup>。目前应用较广泛的“开窗式”电脑验光仪如 Grand Seiko WAM5500,是一种间接测量的方法。通过让患者转动眼球或转动头部到一定角度,暴露出周边视网膜,验光仪从正前方进行验光,得到不同注视角度下的周边视网膜屈光度<sup>[10]</sup>。然而,这种测量方法测量时间长,过程复杂,测量数据点较少,并不能反映整体视网膜的屈光状态。基于上述原因,既往关于儿童周边屈光度的研究甚少。8~10岁是儿童近视的高发期,进一步阐明该年龄段儿童屈光发育与周边屈光度的关系,对理解青少年近视的发病机理具有重要意义。因此,寻求一种适合儿童周边屈光度测量的方法仍是目前急需解决的问题。2020年,国内自主设计的多光谱屈光地形图(MRT,盛达同泽,中国深圳)研发面世,相较于“开窗式”验光仪,其不需要改变受试者的注视头位或眼位,只需注视固定视标2~3 s即可获得眼底的屈光分布。因此,本研究的目的是评估儿童睫状肌麻痹下MRT视网膜屈光测量的可重复性和一致性,为将来儿童屈光发育的临床应用提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

本横断面研究开始于2020年11月,止于2020年12月,并已通过中山大学公共卫生学院伦理审查委员会批准,并遵守《赫尔辛基宣言》。在充分解释研究目的和内容后,获得父母或监护人的书面知情同意后进行眼部检查。纳入标准包括:年龄在8岁至10岁之间;双眼最佳矫正视力(BCVA)不低于20/25。有眼部手术史、眼部疾病(如斜视和弱视)、高度散光(单眼柱镜 $<-2.00$  D)、正在接受或报告曾经使用角膜塑形术治疗的儿童将被排除。

### 1.2 研究方法

1.2.1 研究步骤 所有受试儿童首先进行基本眼科检查,包括裸眼视力检查和裂隙灯检查;眼科医生检查排除眼部疾病和睫状肌麻痹禁忌症后进行睫状肌麻痹。选用的睫状肌麻痹剂为1%环喷托酯,使用方法为每5 min 双眼各点眼一次,共点三次,在第三次点眼完成30 min后,由眼科医生判断瞳孔散大至6 mm且瞳孔对光反射消失为睫状肌充分麻痹,随后依次进行视网膜屈光测量,中央客观验光,以及眼轴长度测量。

1.2.2 视网膜屈光测量 采用多光谱屈光地形图(MRT,盛达同泽,中国深圳)进行视网膜屈光测量。将被检者下巴置于颌托,嘱被检查者额头向前贴紧颌托固定头部。检查者操作手柄对准瞳孔中央,向前推入直至窥见视网膜血管及视盘,前后移动调至清晰;嘱被检查者向前注视MRT内固定视标2~3 s,即可完成视网膜屈光地形图数据采集。利用图像算法分析程序解耦转换,生成彩色的视网膜屈光地形图像。经过颜色编码后,可得到一组三维和二维图像(图1),组合形成视网膜屈光地形图,直观反映视网膜的绝对屈光状态和相对屈光状态。暖色代表远视离焦,冷色代表近视离焦。如果患者有眨眼或晃动,系统提示重做。所有MRT测量都由同

一名经验丰富的验光师重复测量2次。

### 1.3 观察指标

1.3.1 主要指标 MRT可测量中央和周边视网膜特定区域内的屈光度;黄斑中心凹处屈光度用Center-D表示;周边屈光度用视网膜偏差值(retinal deviation value, RDV)表示,指视网膜某一点或区域内绝对屈光度的总和;相对屈光度为RDV减去Center-D的差值,记为RRDV;本研究采用环形和象限两种方法表示视网膜屈光。TRDV表示 $0^{\circ}$ - $53^{\circ}$ 视场范围内屈光度总和;环形记录指以黄斑为中心,分别计算视网膜0-15, 0-30, 0-45, 15-30, 30-45, 45-53偏心度的同心圆环视网膜屈光度(图2A);象限记录指视网膜下象限(inferior)、上象限(superior)、颞侧象限(temporal)和鼻侧象限(nasal)的屈光度之和(图2B)。

1.3.2 次要指标 采用自动电脑验光仪(KR8800; Topcon Corp)进行睫状肌麻痹后客观验光,重复测量三次且三次结果误差不超过0.25 D。结果记录为球镜度数(diopter of sphere, DS),柱镜度数(diopter of cylinder, DC)和等效球镜度(spherical equivalent refraction, SER),SER可由DS和DC计算得到,计算公式为 $SER=DS+1/2DC$ 。采用IOL Master 500(Carl Zeiss Meditec AG)测量眼轴长度(axial length, AL),双眼各重复5次,结果误差不超过0.02 mm。

### 1.4 统计学方法

采用SPSS 25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)统计软件分析;满足正态分布的参数用均值 $\pm$ 标准差进行统计描述,采用配对样本 $t$ 检验分析前后两次测量差异;非正态分布的参数用中位数和四分位数进行描述,测量间差异比较采用Wilcoxon符号秩检验。采用组内相关系数(the intraclass correlation coefficient, ICC)评估同一检查者连

续两次测量的可重复性,并报告95%一致性极限(the limits of agreement, LoA)。对于睫状肌麻痹后中心屈光度,采用Pearson相关性评估Center-D和SER之间的关系。ICC>0.75被认为是良好的测量可靠性,ICC<0.4认为可靠性较差。 $P$ 值<0.05被认为有统计学意义。考虑到双眼之间的屈光度相关性较高( $r=0.94, P<0.001$ ),本研究仅纳入右眼数据进行分析。

## 2 结果

### 2.1 研究对象基本资料

本研究共纳入146名儿童,年龄平均( $9.22\pm 0.61$ )岁,男女分布基本相等(分别占48.6%和51.3%)。表1总结了全部受试者的基本资料。

### 2.2 Center-D和SER的一致性

表2总结了SER和Center-D之间的一致性分析。结果显示,自动验光仪和MRT在中央屈光测量上有极佳的一致性(ICC=0.94, 95%CI [0.92, 0.96]),Wilcoxon符号秩和检验显示测量方法间中位数差异为0.43 D,具有统计学差异( $Z=-9.17, P<0.001$ );仪器间95% LoA为-1.48至0.59(图3)。Pearson相关分析表明,自动验光仪和MRT之间的中心屈光测量值具有较强的相关性( $r=0.89, P<0.001$ ),散点图(图4)显示SER与Center-D之间呈稳定的线性相关。

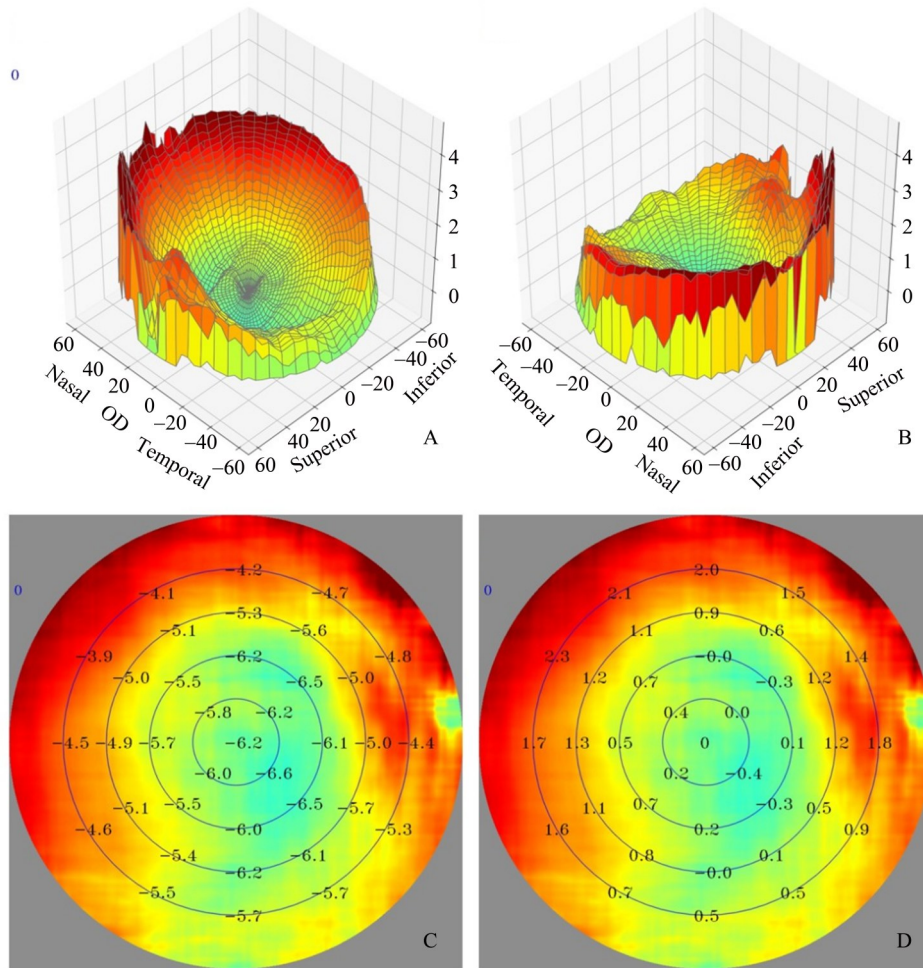
### 2.3 RDV和RRDV的重复性

两次重复测量RDV统计描述见表3。视网膜环状和象限各个区域ICC值均>0.75,下方象限最小ICC=0.93, 95%CI=[0.91, 0.95],重复测量之间均不具有统计学差异( $P$ 均>0.05);图5展示了视网膜 $0^{\circ}$ - $53^{\circ}$ 环状和四个象限RDV值的Bland-Altman图,数据点集中分布在95%一致性限制(LoA)内;

表1 受试者基本资料

Item	$n$	Age	SER	AL
Male	71	9.34 $\pm$ 0.58	-0.38(-0.38, 0.88)	23.59 $\pm$ 0.85
Female	75	9.10 $\pm$ 0.61	0.13(-0.38, 0.63)	23.06 $\pm$ 0.66
$t/z$		2.43 <sup>1)</sup>	-1.37 <sup>2)</sup>	4.27 <sup>1)</sup>
$P$		0.02	0.17	0.00

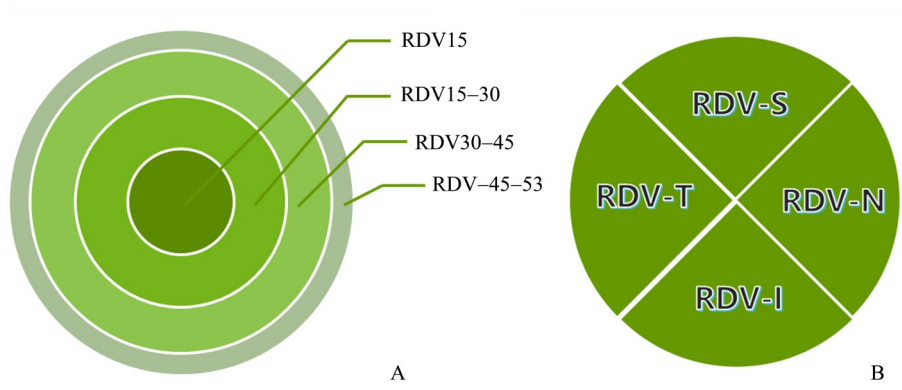
SER: spherical equivalent refraction; AL: axial length. 1) Independent Samples Test; 2) Mann-Whitney Test.



A-B: Schematic of three-dimensional color-scale images from superonasal to inferotemporal retina and from inferotemporal to superonasal retina; C-D: Two-dimensional retinal deviation value (RDV) and relative retinal deviation value (RRDV) color-scale images.

图1 MRT 三维和二维色彩示意图(以右眼为例)

Fig. 1 Schematic of MRT three and two-dimensional color-scale images (right eye)



A: Schematic of annulus outcomes; B: Schematic of quadrant outcomes.

图2 MRT 指标示意图(右眼)

Fig. 2 Schematic of MRT outcomes (right eye)

Wilcoxon 符号秩和检验显示, RDV 连续两次测量结果之间没有统计学差异( $P$ 均 $>0.05$ )。说明MRT

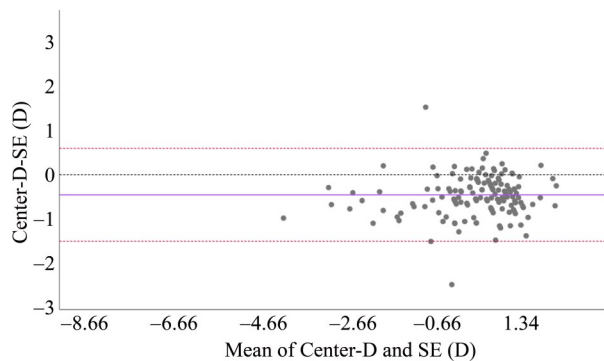
测量RDV具有良好的可重复性。

根据RDV计算的RRDV统计描述见表4。环

表2 客观验光等效球镜与MRT中央验光一致性分析  
Table 2 Cycloplegic central refraction agreement between SER and MRT  $[M(P_{25} \sim P_{75})]$

Item	Central Refraction	$Z^{(1)}$	$P^{(1)}$	ICC (95%CI)	Pearson Correlation	
					$r$	$P$
SER	0.25(-0.38, 0.75)	-9.17	0.00	0.94[0.92, 0.96]	0.89	0.00
Center-D	0.68(0.09, 1.20)					

SER: spherical equivalent refraction; Center-D: central refraction using MRT. <sup>1)</sup> Wilcoxon Signed Ranks Test.



Bland-Altman plots illustrating the agreement of Center-D values and Spherical Equivalent values. The mean is marked as a solid purple line, and zero difference is included as a black dot-dashed line for orientation purposes. The 95% limits of agreement are marked as dashed red lines.

图3 客观验光等效球面度数与MRT中央屈光 Bland-Altman 图

Fig. 3 Bland-Altman plots of SER and Center-D

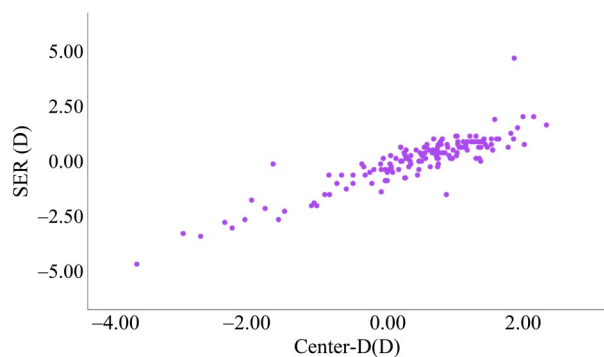


图4 客观验光等效球面度数与MRT中央屈光散点图

Fig. 4 Scatter plots of SER and Center-D

状数据显示,视网膜中央 $30^\circ$ 内重复性下降,中央 $0^\circ \sim 15^\circ$ 最小 ICC=0.37 (95%CI= [0.12, 0.54]); $30^\circ$ 以外可重复性良好,周边 $30 \sim 45^\circ$ 最小 ICC=0.87 (95%CI= [0.81, 0.90])。四个象限可重复性良好,ICC 均 $\geq 0.75$ ,下方象限最小 ICC=0.75 (95%CI= [0.66, 0.82]);图6展示了视网膜 $0^\circ \sim 53^\circ$ 环状和四

个象限RRDV值的Bland-Altman图,数据点集中分布在95%一致性限制(LoA)内;Wilcoxon符号秩和检验显示,RRDV连续两次测量结果之间没有统计学差异( $P$ 均 $>0.05$ )。说明MRT测量RRDV在周边环状和象限区域具有良好的重复性。

### 3 讨论

本研究应用基于屈光透镜补偿和计算机算法的新型视网膜屈光测量仪,测量睫状肌麻痹后人眼视网膜的屈光度值;其优点是可以在短时间内计算生成视网膜 $0^\circ \sim 53^\circ$ 视场角范围内的光学离焦数据。相比既往研究所用到的开窗式电脑验光仪具有测量时间更短,视网膜屈光信息密度更高等优点。同时,MRT可获取超过100万个的密集数据点,并根据图像分析和算法自动计算RDV,与以往的研究相比,提供了更客观和准确的结果。但在广泛的临床应用推广之前,需要验证其多次测量的可重复性和再现性。此前已有报道了MRT在成人眼中有极佳的可重复性和一致性<sup>[11-12]</sup>,但在儿童当中的重复性尚未有报道。

我们结果表明,睫状肌麻痹下,MRT测量视网膜屈光RDV,中央至周边有良好的可重复性(环状和象限各个区域ICC值均 $>0.75$ )且两次测量间均未见显著差异。这较既往传统设备,具有明显优势。既往文献中使用Grand Seiko WAM-5500开窗式电脑验光仪比较成人中央和周边屈光两次随访间重复性,发现重复性随着偏心度的增加而降低<sup>[10]</sup>。其中可能的原因为,在转动眼球注视周边视标时,实际测量光线与瞳孔中心无法对齐有关。Fedtke等<sup>[13]</sup>报道测量光线与瞳孔中心每偏离0.20 mm,将在等效球面产生0.25 D的误差。另外,随着测量角度的增加,周边的测量角度可能会超出瞳孔的直径范围。MRT测量时不需要受试者改变注视

表3 RDV两次重复测量一致性分析

Table 3 Descriptions and repeatability of RDV

$[M(P_{25} \sim P_{75})]$

MRT parameters	M1	M2	Z <sup>1)</sup>	P <sup>1)</sup>	95%LoA	ICC
Center-D	0.62(0.08, 1.28)	0.69(0.04, 1.28)	-0.92	0.36	[-0.83, 0.93]	0.95[0.94, 0.97]
TRDV	0.56(-0.07, 1.26)	0.59(-0.03, 1.17)	-0.78	0.44	[-0.68, 0.74]	0.97[0.96, 0.98]
RDV-15	0.69(0.12, 1.31)	0.70(0.10, 1.25)	-0.85	0.40	[-0.82, 0.90]	0.96[0.94, 0.97]
RDV-30	0.72(0.10, 1.27)	0.75(0.15, 1.25)	-0.45	0.65	[-0.71, 0.77]	0.97[0.96, 0.98]
RDV-45	0.63(0.08, 1.21)	0.63(0.07, 1.24)	-0.61	0.55	[-0.66, 0.72]	0.97[0.96, 0.98]
RDV-15-30	0.73(0.10, 1.26)	0.74(0.12, 1.26)	-0.32	0.75	[-0.68, 0.74]	0.97[0.96, 0.98]
RDV-30-45	0.52(-0.03, 1.31)	0.63(-0.04, 1.16)	-0.65	0.52	[-0.66, 0.72]	0.97[0.96, 0.98]
RDV-45-53	0.40(-0.26, 1.45)	0.31(-0.33, 1.37)	-0.84	0.40	[-0.84, 0.88]	0.96[0.95, 0.97]
RDV-S	0.16(-0.56, 0.94)	0.26(-0.63, 0.82)	-1.44	0.15	[-0.71, 0.81]	0.97[0.96, 0.98]
RDV-I	1.03(0.29, 1.58)	0.99(0.32, 1.57)	-0.36	0.72	[-1.08, 1.08]	0.93[0.91, 0.95]
RDV-T	0.99(0.46, 1.33)	0.88(0.46, 1.29)	-2.00	0.05	[-0.84, 0.96]	0.93[0.90, 0.95]
RDV-N	0.38(-0.21, 1.49)	0.42(-0.29, 1.75)	-0.26	0.79	[-0.80, 0.80]	0.98[0.97, 0.98]

M1: the first cycloplegic MRT measurement; M2: the second cycloplegic MRT measurement; 1) Z and P value of the difference between M1 and M2 (Wilcoxon Signed Ranks Test); 95%LoA: 95% limits of agreement for the intra-instrument difference; ICC: intraclass correlation coefficient and 95% confidence interval.

表4 RRDV两次重复测量一致性分析

Table 4 Descriptions and repeatability of cycloplegic RRDV

$[M(P_{25} \sim P_{75})]$

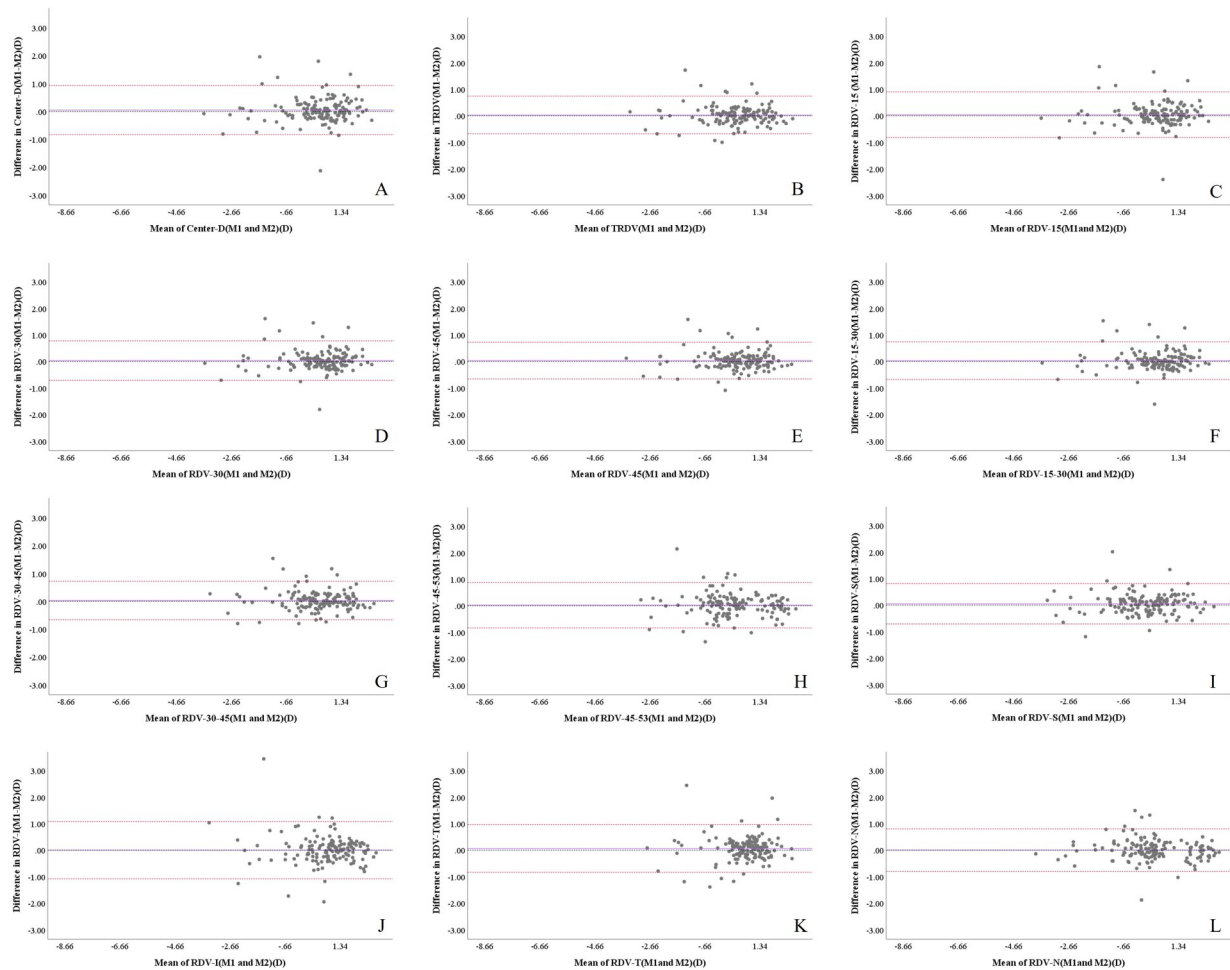
MRT parameters	M1	M2	Z <sup>1)</sup>	P <sup>1)</sup>	95%LoA <sup>1)</sup>	ICC
RTRDV	-0.08(-0.31, 0.28)	-0.02(-0.35, 0.37)	-0.86	0.39	[-0.53, 0.49]	0.89[0.85, 0.92]
RRDV-15	0.03(0, 0.06)	0.03(-0.01, 0.07)	-0.34	0.73	[-0.17, 0.15]	0.37[0.12, 0.54]
RRDV-30	0.03(-0.05, 0.10)	0.05(-0.04, 0.15)	-0.75	0.46	[-0.35, 0.31]	0.49[0.29, 0.63]
RRDV-45	-0.02(-0.17, 0.20)	0.03(-0.21, 0.26)	-0.95	0.34	[-0.49, 0.45]	0.82[0.75, 0.87]
RRDV-15-30	0.03(-0.06, 0.12)	0.06(-0.06, 0.18)	-0.85	0.40	[-0.43, 0.39]	0.52[0.33, 0.65]
RRDV-30-45	-0.08(-0.33, 0.33)	0(-0.38, 0.37)	-0.81	0.42	[-0.65, 0.61]	0.87[0.81, 0.90]
RRDV-45-53	-0.26(-0.67, 0.53)	-0.14(-0.73, 0.59)	-0.73	0.46	[-0.76, 0.72]	0.94[0.91, 0.96]
RRDV-S	-0.39(-0.76, 0)	-0.38(-0.82, 0)	-0.32	0.75	[-0.80, 0.80]	0.86[0.80, 0.90]
RRDV-I	0.33(0.06, 0.65)	0.35(0.05, 0.74)	-1.56	0.12	[-0.91, 0.81]	0.75[0.66, 0.82]
RRDV-T	0.28(0.02, 0.51)	0.31(-0.05, 0.52)	-0.29	0.77	[-0.58, 0.60]	0.85[0.79, 0.89]
RRDV-N	-0.30(-0.61, 0.54)	-0.31(-0.65, 0.88)	-1.78	0.07	[-0.81, 0.71]	0.94[0.92, 0.96]

M1: the first cycloplegic MRT measurement; M2: the second cycloplegic MRT measurement; 1) Z and P value of the difference between M1 and M2 (Wilcoxon Signed Ranks Test); 95%LoA: 95% limits of agreement for the intra-instrument difference; ICC: intraclass correlation coefficient and 95% confidence interval.

眼位,避免了因为瞳孔中心偏移造成的测量误差,并在短时间内获得大量视网膜屈光信息,得到了从中央到周边较一致的重复性结果。

相对屈光 RRDV 由周边屈光值 RDV 减去中央屈光值 Center-D 得到。提出“相对周边屈光”概念

的目的是把中央屈光度都变成 0(D),把所有周边屈光度都放在同一个层面进行比较,可以反映眼底的形态轮廓。在人眼的横断面观察研究证实,远视眼和正视眼周边呈相对近视,眼球呈扁圆形;近视眼周边呈相对远视状态,且近视度数越高,相对远



Bland-Altman plots illustrating the agreement of RDV between two consecutive measurements M1 and M2. The mean is marked as a solid purple line, and zero difference is included as a black dot-dashed line for orientation purposes. The 95% limits of agreement are marked as dashed red lines. Bland-Altman plots for Center-D(A); TRDV(B); RDV-15(C); RDV-30(D); RDV-45(E); RDV-15-30(F); RDV-30-45(G); RDV-45-53(H); RDV-S(I); RDV-I(J); RDV-T(K); RDV-N(L).

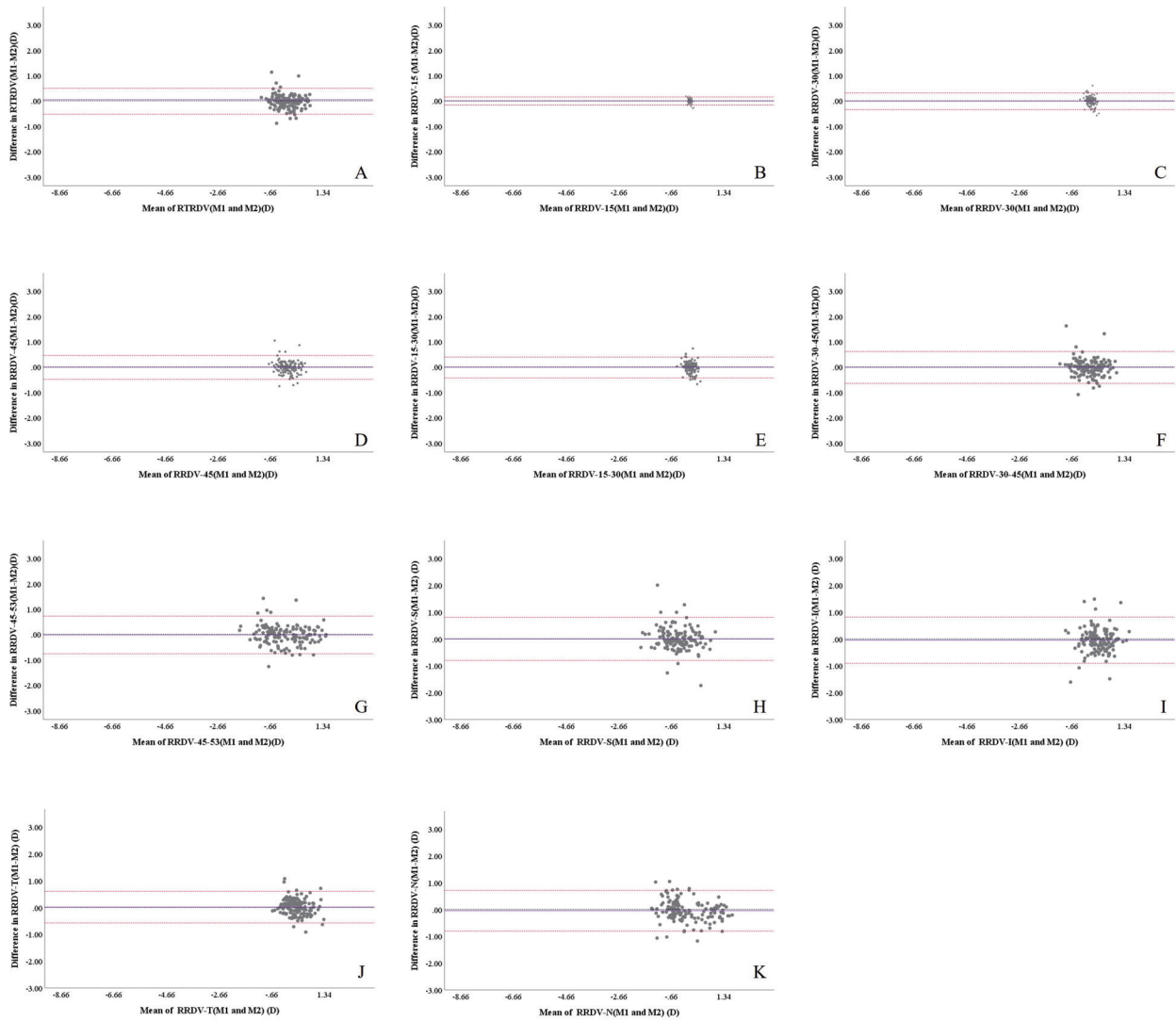
图5 RDV 两次重复测量 Bland-Altman 图

Fig. 5 Bland-Altman plots of RDV between M1 and M2

视离焦量越大,眼球呈长椭圆形<sup>[14-17]</sup>。周边离焦理论认为,相对近视离焦可以抑制眼轴向后生长,对近视发展具有保护作用<sup>[18]</sup>;反之,相对远视会促进眼球向后生长,是近视进展的危险因素。因此,分析相对屈光的重复性具有重要意义。本研究发现,相较 RDV,相对视网膜屈光度 RRDV 测量在 30° 视场角范围内的可重复性下降,且越靠近中央,重复性越低(中央 0°-15° 最小 ICC=0.37, 95%CI [0.12, 0.54])。本研究纳入的受试者大多为正视和低度近视患者,在中央附近区域的周边屈光度与中央相近,因此其相对值数值接近 0。即使是微小的波动,即引起重复性的下降。相应地,越往周边部,

RRDV 数值增大,重复性较好。可以认为,中央附近的 RRDV 重复性降低并不会影响 MRT 测量计算相对值的临床应用。

需要注意的是,在本研究中, SER [0.25(-0.38, 0.75)] 和 Center-D [0.68(0.09, 1.20)] 之间的差异为 0.43 D ( $Z = -9.17, P < 0.001$ ),这意味着 MRT 中央屈光度与睫状肌麻痹后的客观验光相比, MRT 中心屈光度有轻度的远视偏移,这与不同设备的测量原理不同有关。在成人眼中观察到睫状肌麻痹后 Center-D 与 SER 值相差 0.20 D,与主观验光差值 0.26 D<sup>[12]</sup>,也可能与在不同人群中的差异,固视和配合程度有关。本研究发现,在低度屈



Bland-Altman plots illustrating the agreement of RRDV between two consecutive measurements M1 and M2. The mean is marked as a solid purple line, and zero difference is included as a black dot-dashed line for orientation purposes. The 95% limits of agreement are marked as dashed red lines. Bland-Altman plots for RTRDV(A); RRDV-15(B); RRDV-30(C); RRDV-45(D); RRDV-15-30(E); RRDV-30-45(F); RRDV-45-53(G); RRDV-S(H); RRDV-I(I); RRDV-T(J); RRDV-N(K).

图6 RRDV两次重复测量Bland-Altman图

Fig. 6 Bland-Altman plots of RRDV between M1 and M2

光不正的学龄儿童中,自动验光仪与MRT之间有较好重复性(ICC=0.94, 95%CI [0.92, 0.96])和稳定的一致性(图3~4)和相关性( $r=0.89, P<0.001$ ),表明MRT中央轻微的远视偏移不会影响MRT在低度屈光不正儿童中的重复性和一致性。其次,本研究纳入的屈光度范围较小,未来验证更大范围的测量重复性研究仍有必要。

本研究首次比较分析了在睫状肌麻痹状态下, MRT在较大样本量的低度屈光不正的学龄儿童中

的重复性和一致性。周边视网膜分布特点不仅影响儿童屈光发育,更与近视防控个体差异相关<sup>[19]</sup>。MRT作为周边视网膜屈光测量的技术革新,在儿童周边屈光测量中整体上有良好的可重复性和一致性,为将来广泛应用奠定基础;其提供的大量信息为纵向观察周边视网膜发育提供真实可靠的数据支持;也在近视防控如角膜塑形术治疗等临床实践中进行个体化近视防控提供参考依据。

## 参考文献

- [1] Chakraborty R, Ostrin LA, Benavente-Perez A, et al. Optical mechanisms regulating emmetropisation and refractive errors: evidence from animal models [J]. *Clin Exp Optom*, 2020, 103(1): 55–67.
- [2] Smith EL 3rd, Hung LF, Huang J, et al. Effects of optical defocus on refractive development in monkeys: evidence for local, regionally selective mechanisms [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010, 51(8): 3864–3873.
- [3] Smith EL 3rd, Hung LF, Huang J. Relative peripheral hyperopic defocus alters central refractive development in infant monkeys [J]. *Vision Res*, 2009, 49(19): 2386–2392.
- [4] Smith EL 3rd, Hung LF, Huang J, et al. Effects of local myopic defocus on refractive development in monkeys [J]. *Optom Vis Sci*, 2013, 90(11): 1176–1186.
- [5] Zhang HY, Lam CSY, Tang WC, et al. Defocus incorporated multiple segments spectacle lenses changed the relative peripheral refraction: a 2-year randomized clinical trial [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(5): 53.
- [6] Lin Z, Duarte-Toledo R, Manzanera S, et al. Two-dimensional peripheral refraction and retinal image quality in orthokeratology lens wearers [J]. *Biomed Opt Express*, 2020, 11(7): 3523–3533.
- [7] Wildsoet CF, Chia A, Cho P, et al. IMI – Interventions Myopia Institute: interventions for controlling myopia onset and progression report [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019, 60(3): M106–M131.
- [8] Atchison DA, Li SM, Li H, et al. Relative peripheral hyperopia does not predict development and progression of myopia in children [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015, 56(10): 6162–6170.
- [9] Fedtke C, Ehrmann K, Holden BA. A review of peripheral refraction techniques [J]. *Optom Vis Sci*, 2009, 86(5): 429–446.
- [10] Moore KE, Berntsen DA. Central and peripheral autorefraction repeatability in normal eyes [J]. *Optom Vis Sci*, 2014, 91(9): 1106–1112.
- [11] Liao Y, Yang Z, Li Z, et al. A quantitative comparison of multispectral refraction topography and autorefraction in young adults [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 715640.
- [12] Lu W, Ji R, Ding W, et al. Agreement and repeatability of central and peripheral refraction by one novel multispectral-based refractor [J]. *Frontiers in Medicine*, 2021, 8: 777685.
- [13] Fedtke C, Ehrmann K, Ho A, et al. Lateral pupil alignment tolerance in peripheral refractometry [J]. *Optom Vis Sci*, 2011, 88(5): E570–579.
- [14] Li SM, Li SY, Liu LR, et al. Peripheral refraction in 7- and 14-year-old children in central China: the Anyang Childhood Eye Study [J]. *Br J Ophthalmol*, 2015, 99(5): 674–679.
- [15] Sng CC, Lin XY, Gazzard G, et al. Peripheral refraction and refractive error in singapore chinese children [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52(2): 1181–1190.
- [16] Ehsaei A, Mallen EA, Chisholm CM, et al. Cross-sectional sample of peripheral refraction in four meridians in myopes and emmetropes [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52(10): 7574–7585.
- [17] Chen X, Sankaridurg P, Donovan L, et al. Characteristics of peripheral refractive errors of myopic and non-myopic Chinese eyes [J]. *Vision Res*, 2010, 50(1): 31–35.
- [18] Morgan IG, Wu PC, Ostrin LA, et al. IMI risk factors for myopia [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021, 62(5): 3.
- [19] Zhang H, Lam CSY, Tang WC, et al. Myopia control effect is influenced by baseline relative peripheral refraction in children wearing defocus incorporated multiple segments (DIMS) spectacle lenses [J]. *J Clin Med*, 2022, 11(9): 2294.