

IOL Master 700 测量白内障患者角膜散光的重复性

要 博,王一惠,辛志坤

引用:要博,王一惠,辛志坤. IOL Master 700 测量白内障患者角膜散光的重复性. 国际眼科杂志, 2026,26(10):1806-1817.

作者单位:(100012)中国北京市,航空总医院眼科
作者简介:要博,硕士,副主任医师,研究方向:白内障、青光眼、眼底病。
通讯作者:要博. atinybug@sina.com
收稿日期:2026-05-31 修回日期:2026-08-20

摘要

目的:探讨 IOL Master 700 在不同散光程度分组测量白内障患者角膜散光及相关生物参数的重复性,并评估其与 IOL Master 500 的一致性。
方法:横断面研究,选取 2024 年 2 月至 2025 年 9 月医院收治的白内障术前患者为研究对象,分为低度散光组(散光度数 <0.75 D)、中度散光组(0.75 D $\leq$ 散光度数 ≤ 1.50 D)和高度散光组(散光度数 >1.50 D)。由同一名检查者分别采用 IOL Master 700 和 IOL Master 500 生物测量仪,在相同环境、头位及操作标准下,每眼用每台仪器连续测量 2 次(间隔 3-5 min),记录眼轴长度(AL)、前房深度(ACD)、晶状体厚度(LT)、角膜横径(WTW)、角膜前表面平坦曲率(Kf)、陡峭曲率(Ks)、平均曲率(Km)、角膜前表面散光(Kly)、全角膜散光(TK)、虹膜水平中心距(IBD-Ix)、虹膜垂直中心距(IBD-Iy)以及散光矢量 J0 和 J45。采用组内相关系数(ICC)评价 IOL Master 700 两次测量的重复性,采用 Bland-Altman 95%一致性界限(LoA)评价 IOL Master 700 与 IOL Master 500 测量结果的一致性,采用相关性散点图评价 IOL Master 700 与 IOL Master 500 测量结果的相关性。
结果:选取白内障术前患者 238 例 238 眼为研究对象,低度散光组 88 例,男 47 例,女 41 例,平均年龄 68.14 ± 6.25 岁;中度散光组 80 例,男 42 例,女 38 例,平均年龄 68.13 ± 6.98 岁;高度散光组 70 例,男 38 例,女 32 例,平均年龄 69.11 ± 6.79 岁;三组患者一般资料具有可比性。在低、中、高度散光三组中,IOL Master 700 测量 AL、ACD、LT、WTW、Kf、Ks、Km、Kly、TK、IBD-Ix 的 ICC 均 >0.90 ,IBD-Iy 的 ICC >0.85 。不同散光度数患者 J0 和 J45 的 ICC 比较,低度散光组 $<$ 中度散光组 $<$ 高度散光组。两台设备间 Bland-Altman 分析显示,AL、ACD、LT、WTW、Kf、Ks、Km、Kly、TK、IBD-Ix、IBD-Iy 的 95% LoA 宽度均较窄,提示两台仪器一致性良好。对于散光矢量 J0 和 J45,两台设备间的 Bland-Altman 95% LoA 宽度随散光度数增加而减小。绘制相关性散点图,结果显示 AL、ACD、LT、WTW、Kf、Ks、Km、Kly、TK、IBD-Ix 及 IBD-Iy 的散点紧密聚集于对角线两侧,无明显离群值,提示相关性较高;J0、J45 散点仍沿对角线分布,但离散程度明显大于上述参数,提示相关性略低。
结论:IOL Master 700 在测量白内障患者 AL、ACD、LT、WTW、角膜曲率、Kly、TK 及 IBD-Ix 等参数时,在不同散光

程度分组中均具有良好至极好的重复性,且与 IOL Master 500 间一致性好。但对于散光矢量 J0 和 J45,IOL Master 700 自身重复性及与 IOL Master 500 的一致性均随散光度数降低而下降,在低度散光患者中差异尤为明显。因此,对于低度散光患者,应谨慎解读单次测量的散光矢量结果。
关键词:IOL Master 700;白内障;角膜散光;重复性;散光矢量;生物测量
DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.10.21

Repeatability of corneal astigmatism measured by IOL Master 700 in cataract patients

Yao Bo, Wang Yihui, Xin Zhikun

Department of Ophthalmology, Aviation General Hospital, Beijing 100012, China
Correspondence to: Yao Bo. Department of Ophthalmology, Aviation General Hospital, Beijing 100012, China. atinybug@sina.com
Received:2026-05-31 Accepted:2026-08-20

Abstract

• **AIM:** To investigate the repeatability of using IOL Master 700 to stratify corneal astigmatism and related biological parameters in cataract patients with different degrees of astigmatism, and evaluate its consistency with IOL Master 500.
• **METHODS:** A cross-sectional study was conducted on preoperative cataract patients admitted to the hospital from February 2024 to September 2025. The patients were divided into three groups: low astigmatism group (astigmatism <0.75 D), moderate astigmatism group (0.75 D $\leq$ astigmatism ≤ 1.50 D), and high astigmatism group (astigmatism >1.50 D). The IOL Master 700 and IOL Master 500 biometers were used by the same examiner respectively. Under the same environment, head position, and operating standards, each eye was continuously measured twice (with an interval of 3-5 min) with each instrument. Axial length (AL), anterior chamber depth (ACD), lens thickness (LT), corneal transverse diameter (WTW), flat curvature (Kf), steep curvature (Ks), mean curvature (Km), anterior corneal astigmatism (Kly), total corneal astigmatism (TK), iris-based diameter-vertical component (IBD-Ix), iris-based diameter-horizontal component (IBD-Iy) and astigmatism vectors J0 and J45 were recorded. Intraclass

correlation coefficient (ICC) was used to evaluate the repeatability of IOL Master 700 measurements. Bland – Altman 95% limits of agreement (LoA) was used to evaluate the consistency of IOL Master 700 and IOL Master 500 measurements. Correlation scatter plots were used to evaluate the correlation between IOL Master 700 and IOL Master 500 measurements.

• **RESULTS:** Totally 238 preoperative cataract patients (238 eyes) were selected as the research subjects and divided into a low astigmatism group of 88 cases, including 47 males and 41 females, with an average age of 68.14 ± 6.25 y. The moderate astigmatism group consisted of 80 eyes, with 42 males and 38 females, with an average age of 68.13 ± 6.98 y. The high astigmatism group consisted of 70 eyes, with 38 males and 32 females, with an average age of 69.11 ± 6.79 y. The general information of the three groups of patients was comparable. In the low, medium, and high astigmatism groups, the ICC measured by IOL Master 700 for AL, ACD, LT, WTW, Kf, Ks, Km, Kly, TK, and IBD–lx were all > 0.90 , and the ICC for IBD–ly was > 0.85 . The ICC comparison of J0 and J45 patients with different degrees of astigmatism showed that the low astigmatism group was less than the moderate astigmatism group and less than the high astigmatism group. Bland Altman analysis between two devices showed that the 95% LoA width of AL, ACD, LT, WTW, Kf, Ks, Km, Kly, TK, and IBD–lx was narrow, indicating good consistency between the two instruments. For the astigmatism vectors J0 and J45, the Bland Altman 95% LoA width between the two devices decreased with increasing astigmatism. A correlation scatter plot was drawn, which showed that the scatter points of AL, ACD, LT, WTW, Kf, Ks, Km, Kly, TK, IBD–lx, and IBD–ly were closely clustered on both sides of the diagonal without obvious outliers, indicating high correlation. J0 and J45 scatter points were still distributed along the diagonal, but the degree of dispersion was significantly greater than the above parameters, indicating slightly lower correlation.

• **CONCLUSION:** IOL Master 700 exhibits good to excellent repeatability in measuring parameters such as AL, ACD, LT, WTW, corneal curvature, Kly, TK, IBD–lx, and IBD–ly in cataract patients with different degrees of astigmatism, and shows good agreement with the IOL Master 500. However, for the astigmatism vectors J0 and J45, the repeatability of IOL Master 700 and its consistency with IOL Master 500 both decrease with decreasing astigmatism, and the difference is particularly significant in patients with low astigmatism. Therefore, astigmatism vector outcomes obtained from a single measurement should be interpreted with caution in patients with low astigmatism.

• **KEYWORDS:** IOL Master 700; cataract; corneal astigmatism; repeatability; astigmatism vector; biometry

Citation: Yao B, Wang YH, Xin ZK. Repeatability of corneal astigmatism measured by IOL Master 700 in cataract patients. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2026, 26(10): 1806–1817.

0 引言

白内障是一种致盲性眼病,手术摘除联合人工晶状体植入是恢复患者视功能的主要手段。随着白内障手术技术的不断发展以及患者对术后视觉质量要求的不断提升,精准的生物测量和人工晶状体度数计算成为保证手术效果的关键环节^[1]。其中角膜散光是影响白内障患者术后裸眼视力和视觉质量的重要因素之一,其度数与轴向的准确评估,对散光矫正型人工晶状体的选择及个性化散光矫正方案的制定具有决定性意义^[2]。因此,术前实现角膜散光参数的高精度测量,具有重要的临床价值。IOL Master 700 作为新一代光学生物测量仪,其基于扫频源光学相干断层扫描技术,能够快速、非接触地获取眼轴长度 (axial length, AL)、前房深度 (anterior chamber depth, ACD)、散光矢量等多项生物测量参数,其特有的长波长光源及高频扫描技术可增加测量精度与重复性。目前关于 IOL Master 700 的重复性已在多种眼科疾病人群中得到验证。如在一项针对圆锥角膜及角膜环植入术后患者的研究中,该设备表现出极佳的重复性^[3]。针对不规则角膜散光成分患者的研究也显示,IOL Master 700 在测量前角膜散光和总角膜散光时均展现出较高的重复性^[4]。然而,白内障患者常伴有晶状体混浊、角膜形态改变等情况,可能会对 IOL Master 700 生物测量的重复性产生影响。尽管已有研究发现 IOL Master 700 在白内障患者中与 MT–9000、Pentacam AXL 等其他设备测量生物参数的一致性良好^[5–6]。但既往研究多基于整体人群进行分析,未充分考虑角膜散光度数对测量稳定性的潜在影响。而临床上,散光度数是决定是否植入散光矫正型人工晶状体及计算散光矫正轴位的重要依据,尤其在低度散光患者中,测量结果的微小波动即可能改变手术决策。因此,按散光度数进行精细化分层,评估不同散光程度下设备的重复性及与 IOL Master 500 的一致性,对于明确该设备在不同临床场景中的适用边界、指导分层化的术前测量策略具有重要价值,目前尚无研究从这一视角进行探讨。基于此,本研究创新性地按散光度数进行分组,探讨 IOL Master 700 在测量不同散光程度白内障患者角膜散光相关参数的重复性,并评估其与 IOL Master 500 的一致性,期待为该设备在屈光性白内障手术术前规划中的精准应用提供循证医学依据。

1 对象和方法

1.1 对象 横断面研究。选取 2024 年 2 月至 2025 年 9 月医院收治的白内障术前患者为研究对象,若双眼均符合纳入标准,则随机选取一眼纳入分析,根据散光度数将患者分为三组^[7]:低度散光组 (散光度数 < 0.75 D)、中度散光组 ($0.75 \text{ D} \leq \text{散光度数} \leq 1.50 \text{ D}$) 和高度散光组 (散光度数 $> 1.50 \text{ D}$)。纳入标准:(1)符合《眼科学(9 版)》^[7] 中年龄相关性白内障的诊断标准,拟行手术治疗;(2)能够配合完成 IOL Master 700 及 IOL Master 500 检查,注视良好,可保持头部稳定;(3)患者对本研究知情,自愿参与。排除标准:(1)合并角膜相关疾病,如活动性角膜病变、重度干眼等;(2)存在既往角膜屈光手术史或角膜外伤史;(3)合并其他眼部疾病,如青光眼、视网膜脱离等;(4)帕金森病或痴呆。本研究取得医学伦理委员会审查批准,所有参与者均签署知情同意书。

1.2 方法 采用 IOL Master 700 生物测量仪和 IOL Master 500 生物测量仪分别进行测量,所有测量由同 1 名经过规范培训的眼科技师完成,在相同环境、头位及操作标准下

进行,且所有测量均在自然瞳孔状态下进行,不散瞳。为尽可能减少泪膜因素对测量结果的影响,所有测量均在患者充分瞬目后立即进行,且两次测量间隔控制在3-5 min以内,以降低因长时间暴露所致泪膜蒸发的干扰。测量前,患者坐于设备前,下颌置于下颌托,前额紧贴额托,保持头部稳定,充分瞬目后睁眼以确保泪膜均匀,测量过程中注视设备内固视灯;操作者通过设备显示屏调整对焦,使角膜反射光点位于中心位置,按下测量按钮后设备自动完成测量;每次测量后,确认信号质量指示器为“OK”,同时检查 OCT 图像中黄斑中心凹清晰可见以确认固视良好。每眼用 IOL Master 700 和 IOL Master 500 仪器各连续测量 2 次,间隔 3-5 min;计算每台仪器两次测量结果的平均值,采用该均值进行两台仪器间的一致性分析。测量时收集以下参数:AL、ACD、晶状体厚度 (lens thickness, LT)、角膜横径 (white-to-white, WTW)、角膜前表面平坦曲率 (flat keratometry, Kf)、角膜前表面陡峭曲率 (steep keratometry, Ks)、角膜前表面平均曲率 (mean keratometry, Km)、角膜前表面散光 (corneal astigmatism, Kly)、全角膜散光 (total keratometry, TK)、虹膜水平中心距 (iris base diameter-horizontal component, IBD-Ix)、虹膜垂直中心距 (iris base diameter-vertical component, IBD-Iy)、散光矢量 J0 和 J45。

统计学分析:本研究采用 SPSS 23.0 和 MedCalc 20.0 软件进行统计分析,采用 Shapiro-Wilk 检验对各参数进行正态性检验,计数资料符合正态分布的数据以 $\bar{x}\pm s$ 描述,多组间比较使用单因素方差分析;不符合正态分布的数据以 $M(P_{25}, P_{75})$ 描述;计数资料用 $n(\%)$ 表示,多组间比较采用 χ^2 检验。重复性评价采用组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC),参考 Koo 等^[8] 提出的评判标

准,其中 $ICC<0.50$ 为重复性差, $0.50\leq ICC<0.75$ 为中等, $0.75\leq ICC\leq 0.90$ 为良好, >0.90 为极好。采用 Bland-Altman 法评估两种仪器测量结果间的一致性,对于符合正态分布的变量,采用 Pearson 相关分析,相关系数以 r 表示;对于不符合正态分布的变量,采用 Spearman 秩相关分析,相关系数以 r_s 表示。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 纳入患者一般资料

纳入白内障术前患者 238 例 238 眼为研究对象,分为低度散光组 88 例 88 眼;中度散光组 80 例 80 眼;高度散光组 70 例 70 眼;三组患者一般资料具有可比性 (均 $P>0.05$),见表 1。

2.2 不同散光度数患者 IOL Master 700 测量参数的重复性分析

在低、中、高度散光三组中, IOL Master 700 测量 AL、ACD、LT、WTW、Kf、Ks、Km、Kly、TK、IBD-Ix 的 ICC 均 >0.90 ,测量 IBD-Iy 的 $ICC>0.85$ 。不同散光度数患者 J0 和 J45 的 ICC 比较显示,低度散光组 $<$ 中度散光组 $<$ 高度散光组。在各项测量参数中,IBD-Iy 因受上眼睑遮挡影响,其重复性通常低于水平方向参数 IBD-Ix;而 J0 和 J45 为经三角函数转换得出的散光矢量分量,对轴向变化高度敏感,其测量稳定性可能随散光度数变化而改变,因此需重点关注。核心规律为,静态解剖结构参数 (AL、ACD、LT、WTW) 的 ICC 在三组间高度一致 (0.978-0.990),不受散光程度影响;角膜曲率相关参数 (Kf、Ks、Km、Kly、TK) 重复性均极好 ($ICC>0.90$),其中 TK 略优于 Kly;IBD-Ix 重复性极好 ($ICC>0.90$),而 IBD-Iy 仅良好 ($0.75\leq ICC\leq 0.90$),水平-垂直方向差异在各散光组中一致;J0 和 J45 重复性较差,且呈现明显的梯度规律:低度散光组 $<$ 中度散光组 $<$ 高度散光组,见表 2-4。

表 1 纳入患者一般资料比较

组别	眼数	性别 (男/女,例)	年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	散光类型 (眼)		
				顺规散光	逆规散光	斜轴散光
低度散光组	88	47/41	68.14±6.25	32	39	17
中度散光组	80	42/38	68.13±6.98	29	36	15
高度散光组	70	38/32	69.11±6.79	26	30	14
F/χ^2		0.048	0.146		0.079	
P		0.976	0.864		0.999	

注:低度散光组为散光度数 <0.75 D;中度散光组为 $0.75\text{ D}\leq$ 散光度数 ≤ 1.50 D;高度散光组为散光度数 >1.50 D。

表 2 低度散光组 IOL Master 700 测量参数的重复性分析

指标	第一次测量	第二次测量	ICC
AL ($\bar{x}\pm s$, mm)	23.46±0.97	23.47±0.96	0.982
ACD ($\bar{x}\pm s$, mm)	3.11±0.30	3.12±0.30	0.988
LT ($\bar{x}\pm s$, mm)	4.55±0.40	4.56±0.41	0.978
WTW ($\bar{x}\pm s$, mm)	11.81±0.37	11.82±0.38	0.980
Kf ($\bar{x}\pm s$, D)	42.86±1.51	42.88±1.50	0.985
Ks ($\bar{x}\pm s$, D)	44.13±1.57	44.15±1.56	0.974
Km ($\bar{x}\pm s$, D)	43.49±1.53	43.52±1.52	0.980
Kly ($\bar{x}\pm s$, D)	0.52±0.14	0.53±0.14	0.969
TK ($\bar{x}\pm s$, D)	0.58±0.15	0.57±0.15	0.987
IBD-Ix ($\bar{x}\pm s$, mm)	0.12±0.05	0.13±0.06	0.968
IBD-Iy [$M(P_{25}, P_{75})$, mm]	0.06 (0.02, 0.11)	0.05 (0.01, 0.10)	0.861
J0 [$M(P_{25}, P_{75})$, D]	-0.58 (-0.95, -0.28)	-0.56 (-0.93, -0.26)	0.308
J45 [$M(P_{25}, P_{75})$, D]	0.15 (-0.10, 0.42)	0.17 (-0.11, 0.45)	0.398

2.3 不同散光度数患者的一致性比较 结合既往生物测量设备比较研究报告的设备间差异范围及临床实际操作容差,预设各项参数的 95% *LoA* 宽度可接受标准如下:AL、ACD、LT 均≤0.20 mm,WTW≤0.30 mm,Kf、Ks、Km、Kly、TK 均≤0.50 D,IBD-Ix≤0.10 mm、IBD-Iy≤0.08 mm;散光矢量 J0、J45 在低度散光组因信号噪声比

低,界值放宽至0.75 D,中高度散光组以 0.50 D 为界;两台设备间Bland-Altman分析显示,AL、ACD、LT、WTW、Kf、Ks、Km、Kly、TK、IBD-Ix、IBD-Iy 的 95% *LoA* 宽度均较窄,提示两台仪器一致性良好。对于散光矢量 J0 和 J45,两台设备间的 Bland-Altman 95% *LoA* 宽度随散光度数增加而减小,见表 5-7,图 1-3。

表 3 中度散光组 IOL Master 700 测量参数的重复性分析

指标	第一次测量	第二次测量	<i>ICC</i>
AL($\bar{x}\pm s$,mm)	23.47±0.95	23.48±0.94	0.983
ACD($\bar{x}\pm s$,mm)	3.12±0.31	3.13±0.30	0.989
LT($\bar{x}\pm s$,mm)	4.56±0.41	4.57±0.40	0.979
WTW($\bar{x}\pm s$,mm)	11.82±0.37	11.83±0.38	0.981
Kf($\bar{x}\pm s$,D)	42.85±1.52	42.87±1.51	0.984
Ks($\bar{x}\pm s$,D)	44.14±1.56	44.16±1.55	0.975
Km($\bar{x}\pm s$,D)	43.50±1.54	43.52±1.53	0.981
Kly($\bar{x}\pm s$,D)	1.10±0.21	1.11±0.22	0.970
TK($\bar{x}\pm s$,D)	1.18±0.23	1.17±0.22	0.988
IBD-Ix($\bar{x}\pm s$,mm)	0.13±0.05	0.14±0.05	0.969
IBD-Iy[$M(P_{25},P_{75})$,mm]	0.07 (0.03,0.12)	0.06 (0.02,0.11)	0.863
J0[$M(P_{25},P_{75})$,D]	-0.57 (-0.94,-0.27)	-0.55 (-0.92,-0.25)	0.383
J45[$M(P_{25},P_{75})$,D]	0.16 (-0.11,0.43)	0.18 (-0.12,0.46)	0.445

表 4 高度散光组 IOL Master 700 测量参数的重复性分析

指标	第一次测量	第二次测量	<i>ICC</i>
AL($\bar{x}\pm s$,mm)	23.48±0.96	23.49±0.95	0.984
ACD($\bar{x}\pm s$,mm)	3.12±0.30	3.13±0.29	0.990
LT($\bar{x}\pm s$,mm)	4.57±0.42	4.58±0.41	0.980
WTW($\bar{x}\pm s$,mm)	11.83±0.31	11.84±0.37	0.982
Kf($\bar{x}\pm s$,D)	42.84±1.53	42.86±1.52	0.986
Ks($\bar{x}\pm s$,D)	44.15±1.58	44.17±1.57	0.976
Km($\bar{x}\pm s$,D)	43.51±1.55	43.53±1.54	0.982
Kly($\bar{x}\pm s$,D)	1.85±0.27	1.86±0.28	0.971
TK($\bar{x}\pm s$,D)	1.96±0.29	1.95±0.28	0.989
IBD-Ix($\bar{x}\pm s$,mm)	0.12±0.05	0.13±0.05	0.970
IBD-Iy[$M(P_{25},P_{75})$,mm]	0.06 (0.02,0.11)	0.05 (0.01,0.09)	0.866
J0[$M(P_{25},P_{75})$,D]	-0.56 (-0.93,-0.28)	-0.54 (-0.91,-0.24)	0.468
J45[$M(P_{25},P_{75})$,D]	0.17 (-0.12,0.44)	0.19 (-0.13,0.47)	0.489

表 5 低度散光组 IOL Master 700 与 IOL Master 500 测量结果一致性比较

指标	IOL Master 700	IOL Master 500	95% <i>LoA</i>
AL($\bar{x}\pm s$,mm)	23.46±0.97	23.45±0.96	0.18
ACD($\bar{x}\pm s$,mm)	3.11±0.30	3.10±0.30	0.20
LT($\bar{x}\pm s$,mm)	4.55±0.40	4.54±0.39	0.18
WTW($\bar{x}\pm s$,mm)	11.81±0.37	11.80±0.37	0.19
Kf($\bar{x}\pm s$,D)	42.86±1.51	42.85±1.50	0.40
Ks($\bar{x}\pm s$,D)	44.13±1.57	44.12±1.56	0.39
Km($\bar{x}\pm s$,D)	43.49±1.53	43.48±1.52	0.43
Kly($\bar{x}\pm s$,D)	0.52±0.14	0.51±0.13	0.12
TK($\bar{x}\pm s$,D)	0.58±0.15	0.57±0.14	0.16
IBD-Ix($\bar{x}\pm s$,mm)	0.12±0.05	0.11±0.04	0.05
IBD-Iy[$M(P_{25},P_{75})$,mm]	0.06 (0.02,0.11)	0.06 (0.02,0.10)	0.02
J0[$M(P_{25},P_{75})$,D]	-0.58 (-0.95,-0.28)	-0.57 (-0.94,-0.27)	0.45
J45[$M(P_{25},P_{75})$,D]	0.15 (-0.10,0.42)	0.16 (-0.11,0.43)	0.39

表 6 中度散光组 IOL Master 700 与 IOL Master 500 测量结果一致性比较

指标	IOL Master 700	IOL Master 500	95% LoA
AL($\bar{x}\pm s$,mm)	23.47±0.95	23.46±0.94	0.17
ACD($\bar{x}\pm s$,mm)	3.12±0.31	3.11±0.30	0.18
LT($\bar{x}\pm s$,mm)	4.56±0.41	4.55±0.40	0.17
WTW($\bar{x}\pm s$,mm)	11.82±0.37	11.81±0.38	0.22
Kf($\bar{x}\pm s$,D)	42.85±1.52	42.84±1.51	0.35
Ks($\bar{x}\pm s$,D)	44.14±1.56	44.13±1.55	0.44
Km($\bar{x}\pm s$,D)	43.50±1.54	43.49±1.53	0.31
Kly($\bar{x}\pm s$,D)	1.10±0.21	1.09±0.21	0.18
TK($\bar{x}\pm s$,D)	1.18±0.23	1.17±0.22	0.20
IBD-Ix($\bar{x}\pm s$,mm)	0.13±0.05	0.12±0.05	0.03
IBD-Iy[$M(P_{25},P_{75})$,mm]	0.07 (0.03,0.12)	0.06 (0.02,0.10)	0.03
J0[$M(P_{25},P_{75})$,D]	-0.57 (-0.94,-0.28)	-0.56 (-0.93,-0.26)	0.39
J45[$M(P_{25},P_{75})$,D]	0.16 (-0.11,0.43)	0.17 (-0.12,0.44)	0.36

表 7 高度散光组 IOL Master 700 与 IOL Master 500 测量结果一致性比较

指标	IOL Master 700	IOL Master 500	95% LoA
AL($\bar{x}\pm s$,mm)	23.48±0.96	23.47±0.95	0.16
ACD($\bar{x}\pm s$,mm)	3.12±0.30	3.11±0.29	0.17
LT($\bar{x}\pm s$,mm)	4.57±0.42	4.56±0.41	0.17
WTW($\bar{x}\pm s$,mm)	11.83±0.38	11.82±0.36	0.21
Kf($\bar{x}\pm s$,D)	42.84±1.53	42.83±1.52	0.32
Ks($\bar{x}\pm s$,D)	44.15±1.58	44.14±1.57	0.45
Km($\bar{x}\pm s$,D)	43.51±1.55	43.50±1.56	0.39
Kly($\bar{x}\pm s$,D)	1.85±0.27	1.84±0.26	0.20
TK($\bar{x}\pm s$,D)	1.96±0.29	1.96±0.28	0.27
IBD-Ix($\bar{x}\pm s$,mm)	0.12±0.05	0.12±0.05	0.05
IBD-Iy[$M(P_{25},P_{75})$,mm]	0.06 (0.02,0.11)	0.06 (0.02,0.11)	0.02
J0[$M(P_{25},P_{75})$,D]	-0.56 (-0.93,-0.28)	-0.55 (-0.92,-0.25)	0.29
J45[$M(P_{25},P_{75})$,D]	0.17 (-0.12,0.44)	0.18 (-0.13,0.45)	0.31

2.4 两种仪器测量白内障患者角膜散光的相关性分析
绘制相关性散点图,结果显示 AL、ACD、LT、WTW、Kf、Ks、Km、Kly、TK、IBD-Ix 及 IBD-Iy 的散点紧密聚集于对角线两侧,无明显离群值,提示相关性较高;J0、J45 散点仍沿对角线分布,但离散程度明显大于上述参数,提示相关性略低,见表 8、图 4。

3 讨论

重复性是评价测量方法在排除外部变异因素后自身随机误差大小的指标,能直观反映测量方法的稳定性和可靠性。本研究探讨 IOL Master 700 测量不同散光程度白内障患者角膜散光的重复性,并评估其与 IOL Master 500 的一致性和相关性,期待可为临床提供一种稳定且可靠的角膜散光测量新技术手段。在对照设备选择上,本研究以 IOL Master 500 作为主要对照,是考虑 IOL Master 500 作为 IOL Master 700 的前代产品,是目前国内外各级医院尤其基层医疗机构中保有量和普及率最高的光学生物测量仪之一。探讨新旧两代设备的测量一致性与结果可替换性,对于指导临床设备的平稳过渡升级、避免因设备更换导致的测量系统偏差,具有直接且现实的临床指导意义。

经重复性分析发现,在低、中、高度散光三组中,IOL Master 700 测量 AL、ACD、LT、WTW 的重复性均极好,且三组间 ICC 值高度一致,表明这些参数的测量重复性不受角

表 8 两种仪器测量白内障患者角膜散光的相关性

指标	r/r_s	P
AL	0.986	<0.001
ACD	0.977	<0.001
LT	0.976	<0.001
WTW	0.973	<0.001
Kf	0.986	<0.001
Ks	0.984	<0.001
Km	0.990	<0.001
Kly	0.997	<0.001
TK	0.994	<0.001
IBD-Ix	0.975	<0.001
IBD-Iy	0.981	<0.001
J0	0.928	<0.001
J45	0.912	<0.001

膜散光度数的影响。这一结果与既往研究相一致,如 Michael 等^[9]在一项包含 1 767 眼的大型人群研究中报道,IOL Master 700 测量 AL 的重复性较高。Langenbacher 等^[10]对白内障 677 眼的研究同样证实,AL、ACD、LT 等参数的组内标准差较小。Grendele 等^[11]的研究也显示,AL 的变异系数低至 0.04%,进一步验证该设备在生物参数测

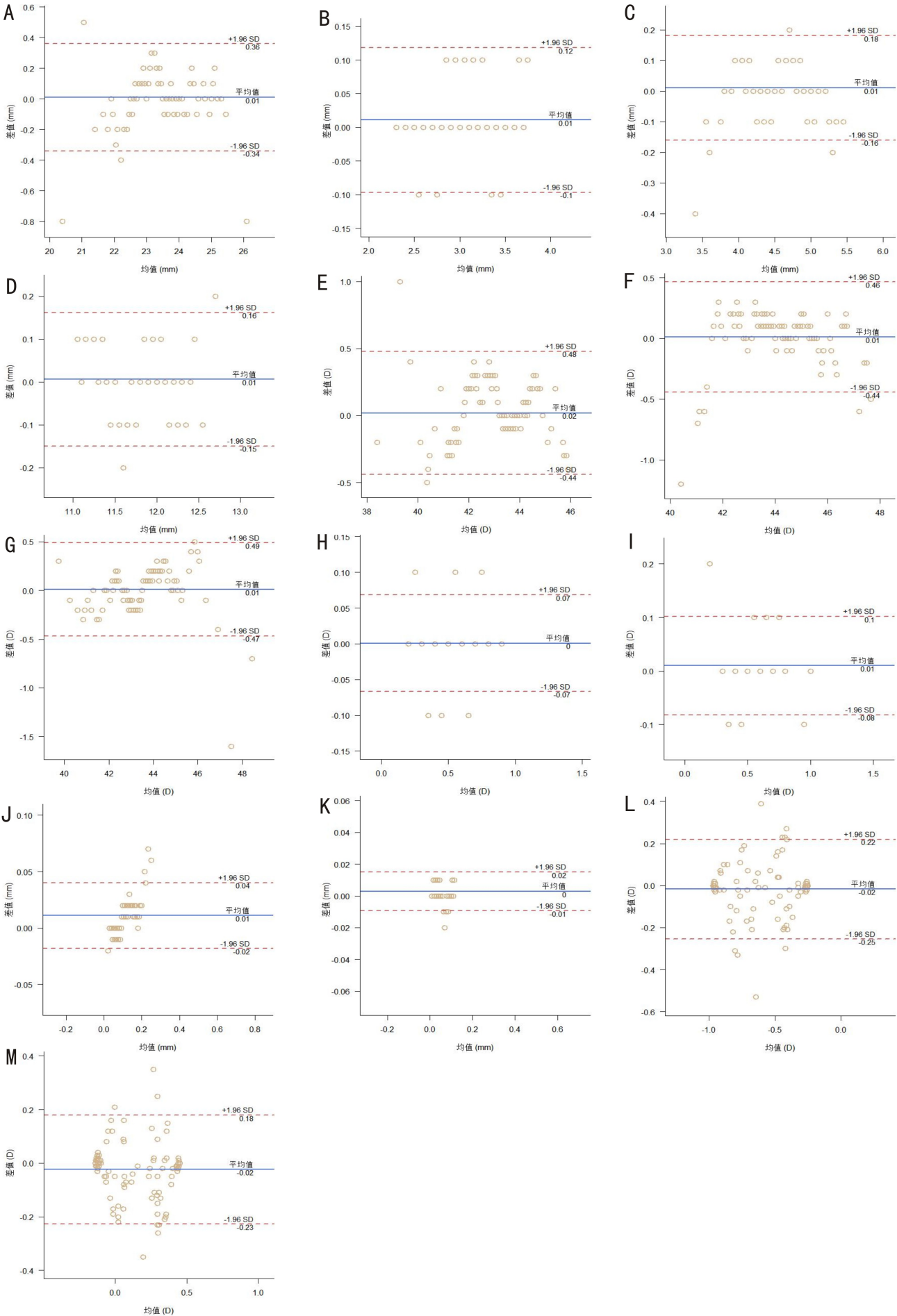


图 1 低度散光组两台设备间 Bland–Altman 分析图 A: AL; B: ACD; C: LT; D: WTW; E: Kf; F: Ks; G: Km; H: Kly; I: TK; J: IBD–Ix; K: IBD–Iy; L: J0; M: J45。

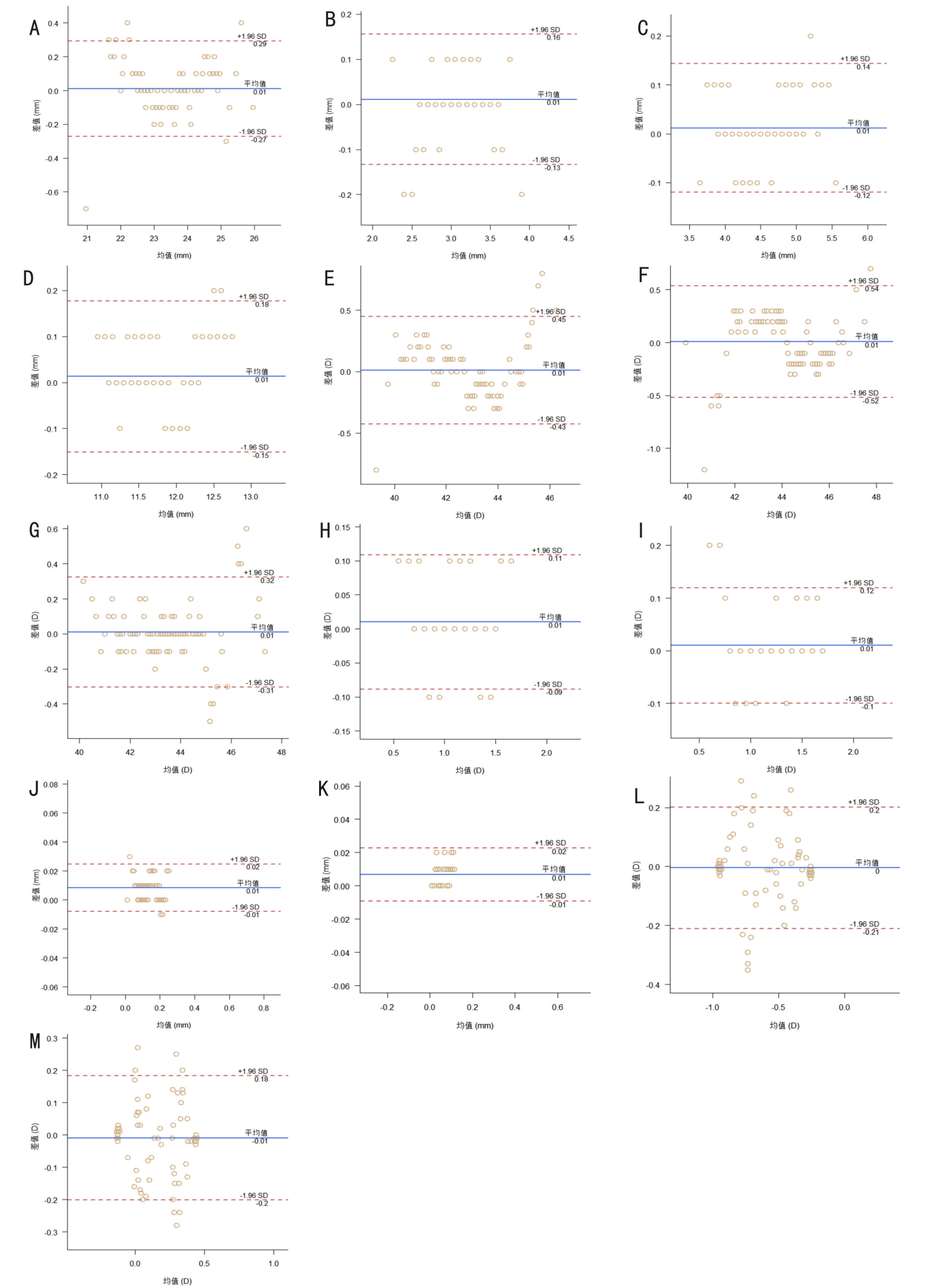


图2 中度散光组两台设备间 Bland–Altman 分析图 A: AL; B: ACD; C: LT; D: WTW; E: Kf; F: Ks; G: Km; H: Kly; I: TK; J: IBD–Ix; K: IBD–Iy; L: J0; M: J45。

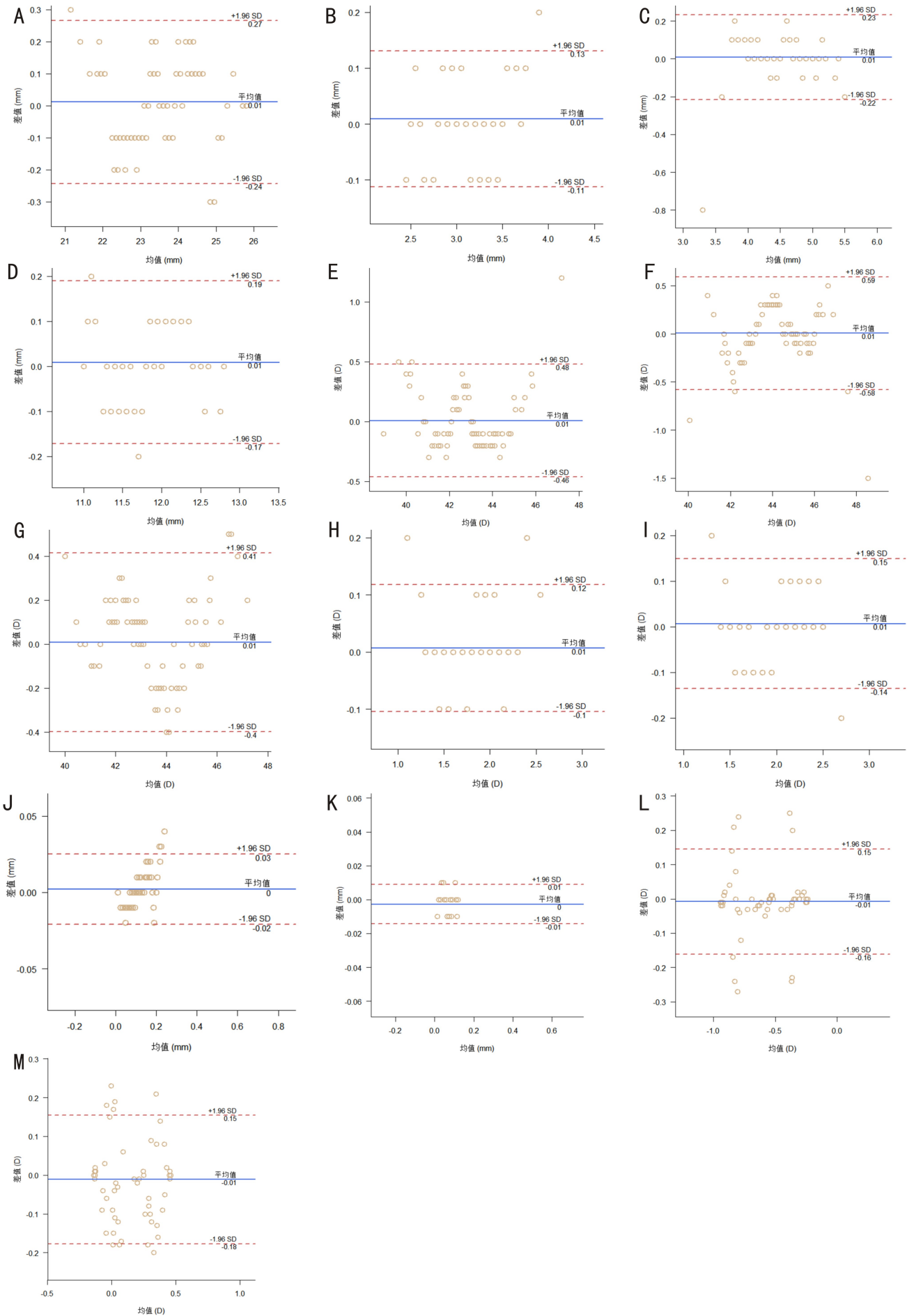


图 3 高度散光组两台设备间 Bland-Altman 分析图 A: AL; B: ACD; C: LT; D: WTW; E: Kf; F: Ks; G: Km; H: Kly; I: TK; J: IBD-Ix; K: IBD-Iy; L: J0; M: J45。

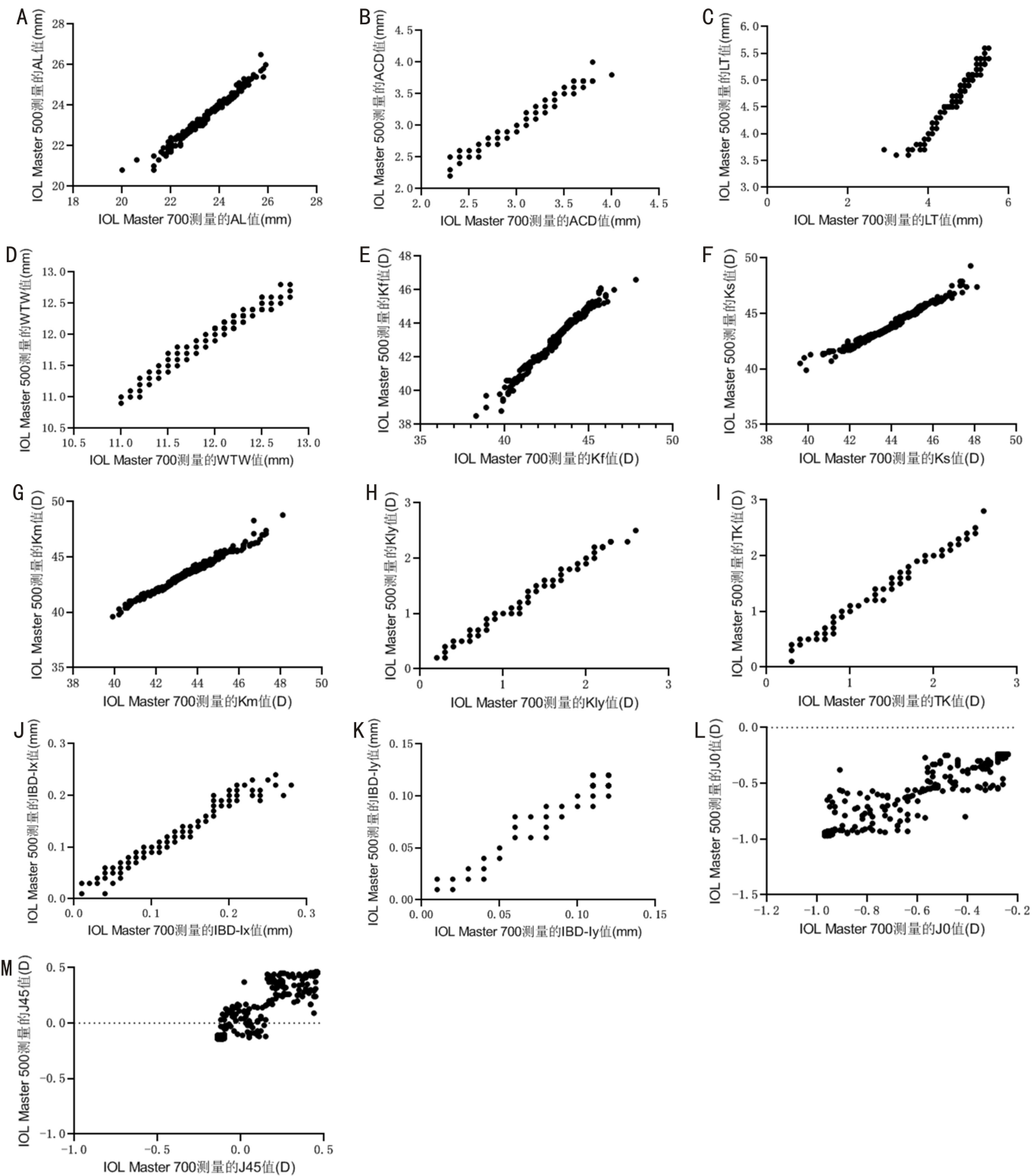


图4 两种设备测量白内障患者角膜散光的散点图 A: AL; B: ACD; C: LT; D: WTW; E: Kf; F: Ks; G: Km; H: Kly; I: TK; J: IBD-Ix; K: IBD-Iy; L: J0; M: J45。

量方面的卓越稳定性。与上述研究相比,本研究除验证静态参数的高重复性外,更进一步证实这种高重复性在不同散光程度亚组中均稳定存在。分析原因可能为:AL、ACD、LT、WTW 均属于静态解剖结构参数,与角膜前表面散光度数无直接关联,因此无论患者散光程度高低,其测量稳定性均不受影响^[12-13]。这些静态解剖结构参数在短时间测量间隔内几乎不发生生理性变化,因此测量准确性主要取决于测量设备能否稳定、精准地识别各组织界面的反射信号。而 IOL Master 700 的扫频源 OCT 技术凭借长

波长优势,可有效穿透白内障混浊,稳定捕获角膜顶点、晶状体及视网膜等界面的反射信号,精准识别边界位置,从而保障 AL、ACD 等参数在不同散光分层中均获得极好的重复性^[14]。

继续分析本研究结果发现,在低、中、高度散光三组中,IOL Master 700 测量 Kf、Ks、Km、Kly、TK 的重复性也极好,且三组的 ICC 值均保持在 0.90 以上,表明这些角膜曲率相关参数的测量重复性不随散光度数增加而改变。Fernández 等^[3]发现 IOL Master 700 测量角膜曲率参数的

重复性极好 ($ICC>0.90$), 但其在较高角膜曲率组中 Kf 的 ICC 略降至 0.894, 略低于本研究结果, 推测与圆锥角膜患者角膜形态不规则, 可能增加设备对平坦轴曲率识别的难度有关。Savini 等^[15]的研究结果显示 IOL Master 700 测量 TK 的重复性优于 Kly。本研究亦观察到类似趋势, 与 Savini 等^[15]结果一致, 可能与 TK 综合前后表面信息、计算算法更稳定有关。分析原因可能为: Kf、Ks、Km 本质上是角膜前表面中央区形态的数值化表达, 而 IOL Master 700 采用远心 3 区角膜曲率测量技术, 投射 18 个光点覆盖中央角膜, 光线平行入射, 测量结果不受顶点距离变化影响, 可避免传统设备对焦误差所致的测量偏倚^[16]。值得关注的是, 角膜曲率测量对泪膜状态具有依赖性, 泪膜破裂或不均匀分布可导致测量值出现微小波动^[17]。而泪膜不稳定可导致角膜屈光力及散光测量出现偏差, 增加 IOL 度数计算的预测误差。此外, 瞬目动作、眼睑压力及患者的注视稳定性也可能对测量结果产生一定影响。但 IOL Master 700 设备每次测量时自动完成 15 次重复采集并采用算法剔除异常值, 能降低单次测量中可能因患者瞬目、眼动或泪膜不均匀所致的偶然误差, 提高测量准确性和稳定性^[18]。Kly 本质上是 Ks 与 Kf 的差值, 而 TK 则是基于角膜前表面曲率与扫频源 OCT 获取的角膜后表面曲率、角膜厚度综合计算得出的全角膜散光值。由于 Kf、Ks、Km 已在先前分析中证实具备极好的重复性, 所以基于这些基础参数计算所得的 Kly 与 TK 也具有极高的重复性。

进一步观察本研究结果, 在低、中、高度散光三组中, 发现 IOL Master 700 测量 IBD-Ix 的重复性极好, 而测量 IBD-Iy 的重复性仅达良好水平, 且这一水平-垂直方向的重复性差异在各散光组中表现一致, 并未随散光度数增加而发生改变, 提示该现象主要源于眼睑遮挡等解剖因素, 与角膜散光程度无关。这一结果与 Sharma 等^[19]的研究相一致, 该研究同样发现 IBD-Iy 的重复性低于 IBD-Ix, 且建议对虹膜中心坐标参数可取多次测量值以提高临床准确性。Li 等^[20]在评估新型 SD-OCT 生物测量仪的研究中也观察到, 垂直方向相关参数的重复性略低于水平方向。分析原因可能为: 虹膜中心坐标反映虹膜几何中心相对于瞳孔中心的位置偏移。水平方向上, 虹膜受眼睑遮挡较少, 边界相对清晰完整, 便于设备稳定识别与定位^[21]; 垂直方向上, 虹膜紧邻上、下眼睑, 周期性瞬目及眼睑压力可致虹膜垂直边界的暴露程度在多次测量间发生变化, 影响设备对虹膜垂直中心位置的稳定识别^[22]。眼睑遮挡效应在不同散光患者中普遍存在, 与角膜散光度数无直接关联, 因此 IBD-Iy 的重复性在各组中均稳定在良好水平。从测量原理看, IOL Master 700 通过眼前节图像自动识别虹膜边界计算中心坐标, 垂直方向上眼睑遮挡使虹膜上缘边界识别不够精确, 加之瞬目时眼睑覆盖范围变化及头位、注视方向的轻度偏移, 均可能增加垂直方向定位的不确定性^[23]。提示临床使用时应关注 IBD-Iy 的测量稳定性, 必要时可取多次测量平均值以提高准确性。

本研究结果发现, 在低、中、高度散光三组中, IOL Master 700 测量散光矢量 J0 和 J45 的重复性均较差, 且呈现明显的组间差异: 低度散光组 ICC 最低, 中度散光组次之, 高度散光组相对最高, 即重复性随散光度数增加而逐渐改善。Yu 等^[24]指出, J0 和 J45 并非直接测量值, 而是由 Kly 与散光轴向经三角函数转换得出的衍生参数, 这一转换过程使得 J0 和 J45 对轴向变化极为敏感, 在散光度

数恒定的前提下, 轴向的微小偏移即可导致矢量分量发生显著改变。Lwowski 等^[25]进一步指出, 角膜散光轴向本身并非绝对恒定参数, 在测量过程中易受多种因素影响而发生生理性波动。如患者头位的微小变化、注视方向的轻微偏移、瞬目引起的泪膜重塑, 以及眼睑压力对角膜形态的瞬时影响等, 均可能导致轴向测量值在数次测量间出现一定程度的变异。而这种轴向波动对 Kly 的影响通常较小, 但经矢量转换后, 其影响被显著放大, 表现为 J0、J45 重复性的明显下降。在低度散光患者中, 角膜散光信号本身较为微弱, 设备对轴向的识别精度相对有限, 轴向测量的随机误差相应增大, 加之较小的 Kly 值作为分母, 使得矢量转换后的波动更为剧烈, 因此 J0、J45 的重复性最差; 而在高度散光患者中, 信号强度充足, 轴向识别相对稳定, 矢量分量的重复性随之改善。可见, J0、J45 重复性差的根本原因并非 IOL Master 700 设备测量能力不足, 而是散光轴向生理性波动在矢量转换过程中被放大的数学属性所致, 且这一现象在低散光人群中尤为突出。Wang 等^[4]在不规则角膜散光成分患者中发现, J0 和 J45 的重复性低于散光度数本身, 且重复性与散光度数呈正相关。Feng 等^[26]在圆锥角膜眼中的研究进一步证实, 散光轴向测量的重复性与散光度数呈显著负相关, 散光度数越高, 轴向测量的稳定性越好。Li 等^[20]的研究也显示, J45 的重复性显著低于其他生物参数, 提示矢量分量对测量变异的敏感性更高。本研究观察到的 J0、J45 重复性在低散光度数组中更低的规律与上述研究结论高度一致, 表明这一现象并非 IOL Master 700 特有的缺陷, 而是散光矢量参数在不同设备、不同人群中的共性表现。因此, 提醒临床医生在低度散光患者中应谨慎解读 IOL Master 700 单次测量的散光轴向及矢量结果, 必要时可取多次测量平均值以提高数据的稳定性和可靠性。

值得关注的是, 在重复性分析基础上, 本研究进一步比较 IOL Master 700 与 IOL Master 500 在不同散光度数组中的测量一致性和相关性。结果显示: 对于 AL、ACD、LT、WTW、Kf、Ks、Km、Kly、TK、IBD-Ix、IBD-Iy 等参数, 两台设备的 Bland-Altman 95% LoA 宽度在低、中、高度散光组中均较窄, 提示两台设备在这些参数的测量上具有较好的一致性, 测量结果可相互替代, 且一致性不受患者角膜散光度数的影响。且散点图结果显示, AL、ACD、LT、WTW、Kf、Ks、Km、Kly、TK、IBD-Ix 及 IBD-Iy 的散点紧密聚集于对角线两侧, 无明显离群值, 提示相关性较高。而对于散光矢量 J0 和 J45, 两台设备的一致性呈现出与重复性相同的趋势: 低度散光组 95% LoA 宽度最大, 中度散光组次之, 高度散光组最窄, 进一步证实低度散光时矢量分量的测量变异较大, 不仅体现在设备自身重复性上, 也反映在两台仪器之间的可重复性差异中。本研究中 Pearson 相关分析进一步证实, J0、J45 散点离散程度明显高, 提示相关性略低, 与 Bland-Altman 结果相互印证。Tian 等^[27]发表的一项研究比较了 IOL Master 700 与 Pentacam 在不同眼轴长度白内障患者中测量 TK 和后角膜曲率的一致性, 该研究虽按眼轴长度进行分层分析, 但未涉及角膜散光度数对测量重复性的影响。与之不同, 本研究创新性地按角膜散光度数 (低、中、高三组) 进行分组, 评估了 IOL Master 700 对 AL、ACD、LT、WTW、Kf、Ks、Km、Kly、TK、IBD-Ix/Iy 及散光矢量 J0、J45 十余项参数的重复性及其与 IOL Master 500 的一致性, 可为临床针对不同散光程度患者制定差异化的测

量策略提供直接的循证依据,对散光矫正型人工晶状体的精准植入具有重要指导价值。值得关注的是,Pearson 相关分析显示 J0 和 J45 的相关系数分别为 0.928 和 0.912 (均 $P<0.001$),虽在统计学上仍属高度线性相关,但相较于 AL、ACD、Kly 等指标,其相关系数明显偏低,散点离散程度更大,原因在于 Pearson 相关系数反映的是两组数据间线性关系的紧密程度,而非测量误差的绝对大小。J0 和 J45 均由角膜散光度数与轴向经三角函数转换得出,当两台设备在轴向上存在微小偏差时,矢量分解的数学放大效应可使 J0、J45 数值产生明显差异,导致散点离散度增大、 r 值相对降低;而 AL、ACD 等参数直接测量值不受轴向波动影响,故 r 值接近 1.0。此外,本研究中 J0/J45 的 95% LoA 宽度明显宽于 Kly,表明两台设备在绝对测量值上的一致性较差;但 r 值仍 >0.9 ,则说明两台设备在J0/J45 的变化趋势上保持一致,两者并不矛盾。

本研究的临床应用价值体现在:对于 AL、ACD、LT 等静态生物参数,临床医生可信任 IOL Master 700 的单次测量结果,无需重复测量;对于中高度散光患者,IOL Master 700 与 IOL Master 500 的测量结果具有良好的互换性,在设备更新换代时无需担心测量系统的偏移;而对于低度散光患者,本研究结果明确提示单次测量的散光矢量数据变异性较大,临床上应谨慎解读,建议采取多次测量取均值或联合其他设备复核的策略,避免因测量误差导致的散光矫正型人工晶状体型号选择不当或轴向定位偏差,从而提高患者的术后视觉质量和满意度。

本研究还存在一些不足:(1)本研究为单操作者设计,未纳入不同操作者间的重复性评价,本结果的外推性可能受到一定限制;(2)本研究中三组散光亚组的样本量存在一定差异,主要源于白内障患者人群中不同程度散光的自然分布差异,尽管最低样本量仍满足 ICC 分析的统计学要求,但组间样本量的不均衡仍可能对亚组比较的统计稳健性产生一定影响。后续研究将进一步扩大样本量,尤其增加高度散光组的纳入比例,以增强分层分析结果的可靠性;(3)尽管本研究在测量前指导患者充分瞬目以稳定泪膜,但未采用客观泪膜破裂时间等指标量化泪膜状态,而泪膜稳定性是影响角膜曲率及散光测量准确性的重要变量,可能对测量重复性产生潜在影响,未来研究应纳入泪膜稳定性客观评估,并探讨泪膜状态对 IOL Master 700 测量重复性的具体影响程度;(4)本研究仅关注测量重复性,未进一步分析测量误差对散光矫正型人工晶体型号选择及术后屈光结果的实际影响,后续研究将结合临床结局进行综合评价;(5)本研究仅选取了同品牌、同原理的 IOL Master 500 作为对照设备,未纳入 Pentacam AXL、MT-9000等不同原理的眼前节生物测量设备进行多仪器横向对比,研究结论的外部适用性尚需进一步验证。未来将设计多中心、多设备的平行对照研究,结合术后屈光结果等临床结局,进一步明确 IOL Master 700 在不同临床场景下的应用效果。

综上所述,IOL Master 700 在白内障患者中测量 AL、ACD、LT、WTW、Kf、Ks、Km、Kly、TK、IBD-Ix、IBD-Iy 参数时,在不同散光程度分组中均具有良好及以上的重复性,且与 IOL Master 500 间一致性和相关性好。但对于散光矢量 J0 和 J45,IOL Master 700 自身重复性及与 IOL Master 500 的一致性均随散光度数降低而下降,在低度散光患者中差异尤为明显。基于以上分层研究结果,提出以下临床

实操建议:(1)对于 AL、ACD、LT 等静态生物参数,可信任 IOL Master 700 的单次测量结果;(2)对于低度散光患者,单次测量的散光轴向及矢量数据变异性较大,建议连续测量 3 次取平均值,或在条件允许时联合角膜地形图对散光轴向进行复核,以提高散光矫正方案的精准性;对于中高度散光患者,IOL Master 700 与 IOL Master 500 的测量结果具有良好的互换性,但在更换设备时仍需注意轴向的微小差异。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:要博论文选题与修改,初稿撰写;王一惠文献检索,数据分析;辛志坤选题指导,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] Singh C, Joshi VP. Cataract surgery in Keratoconus revisited – An update on preoperative and intraoperative considerations and postoperative outcomes. *Semin Ophthalmol*, 2023,38(1):57–64.

[2] Sharifi A, Zand A, Shafiei M, et al. The influence of age and gender on ocular biometrics and corneal astigmatism in adults undergoing cataract surgery. *SAGE Open Med*, 2024,12;20503121241282956.

[3] Fernández López E, Arias – García E, Martínez – Gil C, et al. Repeatability of the pentacam HR and IOLMaster 700 in patients with keratoconus and intracorneal ring segments. *J Refract Surg*, 2025, 41(10):e1082–e1088.

[4] Wang L, Shao X, Fu JL, et al. Repeatability and agreement of 4 biometers measuring corneal astigmatism in eyes with irregular corneal astigmatism component. *Am J Ophthalmol*, 2024,265;200–212.

[5] 吴国欢, 张莹, 杜潮玉, 等. MT-9000 与 IOLMaster 700 测量白内障患者眼生物学参数的一致性. *中华实验眼科杂志*, 2025, 43(10):924–929.

[6] 魏进芬, 谭思敏, 丁琳, 等. Pentacam AXL 与 IOL Master 700 测量白内障患者术前眼部生物学参数的比较. *国际眼科杂志*, 2026, 26(1):148–151.

[7] 赵堪兴, 杨培增, 范先群. *眼科学*. 第 9 版. 北京:人民卫生出版社, 2018;135–139.

[8] Bonett DG. Sample size requirements for estimating intraclass correlations with desired precision. *Stat Med*, 2002,21(9):1331–1335.

[9] Michael R, Wirkner K, Engel C, et al. Feasibility and repeatability of ocular biometry measured with IOLMaster 700 in a large population-based study. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2023,43(4):860–873.

[10] Langenbucher A, Szentmáry N, Cayless A, et al. Repeatability of biometric measures from the IOLMaster 700 in a cataractous population. *PLoS One*, 2024,19(2):e0297869.

[11] Grendele A, Galzignato A, Hoffer KJ, et al. Repeatability of automatic measurements by a new spectral domain optical coherence biometer and agreement with a validated biometer. *J Cataract Refract Surg*, 2025, 51(7):563–569.

[12] Zhang J, Chen F, Han X, et al. Vault Height is a Key Predictive Factor for Anterior Segment Measurement Error by IOL Master 700 in Eyes with Phakic Intraocular Lens. *Transl Vis Sci Technol*, 2023, 12(9):16.

[13] Pradhan A, Hughes RPJ, Pieterse E, et al. Measurement of in vivo lens shapes using IOLMaster 700 B-scan images: Comparison with phakometry. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2024,44(5):1041–1051.

[14] Yang JJ, Yang NJ, Xiang YY, et al. Comparing refractive prediction accuracy of IOL master 700 and Sirius Utilizing the barrett universal II formula. *Clin Ophthalmol*, 2026,20;560886.

[15] Savini G, Taroni L, Schiano-Lomoriello D, et al. Repeatability of total Keratometry and standard Keratometry by the IOLMaster 700 and comparison to total corneal astigmatism by Scheimpflug imaging. *Eye*

(Lond), 2021,35(1):307-315.

[16] Cheng SM, Zhang JS, Shao X, et al. Repeatability of a new swept-source optical coherence tomographer and agreement with other three optical biometers. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2022,260(7):2271-2281.

[17] Abicca I, Schiano-Lomoriello D, Gilardi M, et al. Repeatability of automatic measurements by an anterior segment swept-source OCT biometer in patients with keratoconus. *J Refract Surg*, 2024,40(7):e445-e452.

[18] 赵芳, 徐曼, 何玉枚, 等. IOLMaster 700、IOLMaster 500 与 PetacamHR 测量近视患者眼生物学参数的比较. *中国中医眼科杂志*, 2024,34(12):1114-1119,1131.

[19] Sharma A, Batra A. Assessment of precision of astigmatism measurements taken by a swept-source optical coherence tomography biometer - IOL Master 700. *Indian J Ophthalmol*, 2021,69(7):1760-1765.

[20] Li X, Lei CS, Ning R, et al. Repeatability and reproducibility of a new spectral-domain optical coherence tomography biometer and agreement with swept-source optical coherence tomography based biometer. *Eye Vis*, 2025,12(1):6.

[21] Dong J, Yao JH, Chang SM, et al. Evaluation of ocular diameter parameters using swept-source optical coherence tomography. *Medicina*, 2023,59(5):899.

[22] Namkung S, Boyle AB, Li Y, et al. Repeatability and agreement of horizontal corneal diameter measurements between scanning-slit topography, dual rotating Scheimpflug camera with placido disc tomography, placido disc topography, and optical coherence tomography. *Cornea*, 2022,41(11):1392-1397.

[23] Alió JL, José-Martínez M, Martínez-Abad A, et al. Clinical evaluation of a new spectral-domain optical coherence tomography-based biometer. *Diagnostics (Basel)*, 2024,14(5):560.

[24] Yu JJ, Lin XQ, Huang XM, et al. Evaluation of a new dynamic real-time visualization 25 kHz swept-source optical coherence tomography based biometer. *Eye Vis (Lond)*, 2024,11(1):9.

[25] Lwowski C, Krüger D, Kohnen T. Repeatability and agreement of two ocular biometers with single and dual Scheimpflug cameras in keratoconus eyes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2024,262(11):3701-3709.

[26] Feng Y, Nitter T, Bertelsen G, et al. Repeatability and agreement of total corneal astigmatism measured in keratoconic eyes using four current devices. *Clin Exp Ophthalmol*, 2024,52(8):800-810.

[27] Tian ZY, Zhao P, Li ZY, et al. Agreement between IOL Master 700 and Pentacam in measuring total keratometry and posterior keratometry across different axial lengths in cataract patients. *Int Ophthalmol*, 2025,46(1):56.