中山大学 中山眼科中心 ZHONGSHAN OPHTHALMIC CENTER, SUN YAT-SEN UNIVERSITY

全文收录于 Lighthouse Scholar

眼科学报

官网：journal.gzzoc.org.cn



doi: 10.12419/25062604
View this article at: https://doi.org/10.12419/25062604

• 论 著 •

数字化新技术与传统方法测量配镜参数的比较

林 智[1#]，卢林灏[2#]，王贞玉[3]，王瑾颐[4]，梁筠曼[2]

(1. 中山大学中山眼科中心, 眼病防治全国重点实验室, 广东省眼科视觉科学重点实验室, 广州 510060；
2. 广州新华学院, 广州 510520；3. 南方医科大学皮肤病医院, 广州 510091；4. 上海依视路光学有限公司, 上海 201613)

文章亮点

1. 关键发现

• 数字化新技术 Eye-ruler2 与传统五合一测量尺相比，在瞳距、左右眼镜眼距、前倾角测量上一致性好，仅面弯一致性较差；而面弯一致性差可能源于方法学差异 (传统五合一测量尺测量 *vs* Eye-ruler2 真实戴镜测量) 及镜框材质、鼻托压力对戴镜状态面弯的动态影响。

2. 已知与发现

• 既往研究仅关注镜眼距对处方的理论影响，现研究发现镜眼距与前倾角对处方等效屈光度贡献等同；且高度近视 (<−6.00 D) 人群中，镜眼距对处方度数影响大于前倾角，与既往理论研究结果一致。

• 前倾角、面弯仅在少量个性化渐进镜验配中作为常规参数；现研究发现，中低度近视 (在−6.00 D 以内) 人群中，前倾角对处方度数影响大于镜眼距；而真实佩戴前倾角均值 (5.36°) 低于理论参考范围，推测可能与亚洲人鼻梁较深肤色人种更低平相关。

3. 意义与改变

• 明确 Eye-ruler2 在瞳距、镜眼距、前倾角测量上的优势 (操作简便、减少人为误差、受检者体验好)，且可替代传统方法，为其临床推广提供直接证据，有望改变传统依赖操作者经验的测量模式，降低测量技术门槛。

• 量化镜眼距、前倾角、面弯参数对处方的影响，为“从光学矫正到视觉质量提升”提供数据支撑，契合当前个性化配镜、镜架定制普及的行业趋势，推动行业从“基础光学矫正”向“高质量视觉服务”转型。

[摘　要]　**目的：**评估数字化新技术 (Eye-ruler2) 与传统手动测量方法 (五合一测量尺) 在配镜参数的一致性，探索相关参数对矫正处方的影响，为眼镜精准验配及视觉质量提升提供依据和思路。**方法：**选择 103 名广州新华学院 18~23 岁佩戴框架眼镜的大学生，分别使用 Eye-ruler2 和五合一测量尺对研究对象及现有眼镜测量镜眼距、前倾角、面弯和瞳距，并使用马丁公式和顶点屈光力计算公式计算相关参数 (镜眼

收稿日期(Received): 2025-05-08; **修订日期(Revised):** 2025-05-14; **接收日期(Accepted):** 2025-07-16

#共同第一作者

通信作者(Corresponding author): 林智，Email：linzhi@gzzoc.com

作者贡献声明: 1) 构思设计：卢林灏，林智；2) 行政支持：林智；3) 提供研究材料：卢林灏，王瑾颐，林智；4) 数据收集与汇总：卢林灏，梁筠曼；5) 数据分析与解读：卢林灏，王贞玉，林智；6) 稿件撰写：卢林灏，王贞玉，王瑾颐，林智；7) 稿件最终修订与同意：所有作者

Contributions: Conception and design: LU Linhao, LIN Zhi; Administrative support: LIN Zhi; Provision of study materials: LU Linhao, WANG Jinyi, LIN Zhi; Collection and assembly of data: LU Linhao, LIANG Junman; Data analysis and interpretation: LU Linhao, WANG Zhenyu, LIN Zhi; Manuscript writing: LU Linhao, WANG Zhenyu, WANG Jinyi, LIN Zhi; Final approval of manuscript: All authors

电子全文

距、前倾角、面弯) 的配镜处方度数变化量。**结果：**Eye-ruler2 和五合一测量尺在瞳距、左右眼镜眼距及前倾角分别有极好 (ICC=0.95)、较好 (ICC=0.80)、较好 (ICC=0.76) 及中等 (ICC=0.67) 的一致性，但面弯的一致性较差 (ICC=0.37)；基于镜眼距、前倾角及面弯计算的配镜处方度数总变化量为 (−0.12 ± 0.15)D，各参数变化量 (占比) 分别为 (−0.04±0.11)D(40.61%)、(−0.06±0.09)D(41.83%) 和 (−0.01±0.01)D (16.57%)；未发现基于前倾角的变化量占比与基于镜眼距的变化量占比之间差异存在统计学意义 (P=0.851)，且二者均高于基于面弯变化量占比 (P<0.001)；原等效球镜度与屈光变化量呈正相关；处方度数在−6.00 D 以内时前倾角的影响更大，−12.00~−6.00 D 时则镜眼距的影响更大。**结论：**Eye-ruler2 与五合一测量尺在测量参数的一致性好，数字化新技术因其简便快捷，未来将替代传统测量方法并广泛使用；镜眼距和前倾角对于处方度数影响明显，虽然面弯对于处方影响小，但可能引发逆规散光而影响视觉质量；在未来个性化配镜的前景下，建议常态化测量镜眼距、前倾角和面弯。

[关键词]　数字化配验；配镜参数；处方补偿；精准验配；视觉质量

[中图分类号]　R778.2，TH773　　**[文献标志码]**　A

引用本文：林智, 卢林灏, 王贞玉, 王瑾颐, 梁筠曼. 数字化新技术与传统方法测量配镜参数的比较[J]. 眼科学报, 2026, 41(4): 284-296. DOI: 10.12419/25062604.

A comparison between new digital technologies and traditional methods in measuring spectacle parameters

LIN Zhi[1#], LU Linhao[2#], WANG Zhenyu[3], WANG Jinyi[4], LIANG Junman[2]

(1. State Key Laboratory of Ophthalmology, Zhongshan Ophthalmic Center, Sun Yat-sen University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Ophthalmology and Visual Science, Guangzhou 510060, China; 2. Guangzhou Xinhua University, Guangzhou 510520, China; 3. Dermatology Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510091, China; 4. Shanghai Yishilu Optics Co., Shanghai 201613, China)

Abstract　**Objective**: To evaluate the agreement in spectacle parameter measurements between a digital device (Eye-ruler2) and a manual method (combination gauge). It also aimed to explore how these parameters affect corrective prescriptions and provide evidence and insights for achieving precision in spectacle fitting and enhancing visual quality. **Methods**: We enrolled 103 university students (aged 18–23 years) who were wearing spectacles from Guangzhou Xinhua University. The vertex distance, pantoscopic tilt, face form, and pupillary distance of their existing eyewear were measured using both Eye-ruler2 and a combination gauge. We applied the Martin formula and the vertex power formula to calculate the changes in prescription power induced by vertex distance, pantoscopic tilt, and face form. **Results**: The measurements obtained from Eye-ruler2 and the combination gauge demonstrated excellent agreement for pupillary distance (ICC=0.95), good agreement for left vertex distance (ICC=0.80) and right vertex distance (ICC=0.76), and moderate agreement for pantoscopic tilt (ICC=0.67). However, poor agreement was observed for face form (ICC=0.37). The total refractive power change in the prescription, calculated based on vertex distance, pantoscopic tilt, and face form, was (−0.12 ± 0.15)D. The individual parameter contributions (and their proportions) were as follows: Vertex distance: (−0.04±0.11)D (40.61%), Pantoscopic tilt: (−0.06±0.09)D (41.83%), Face form: (−0.01±0.01)D (16.57%); No significant difference was found between the contributions of pantoscopic tilt and vertex distance (P=0.851), and

both being significantly greater than that of face form (all $P< 0.001$). The baseline spherical equivalent positively correlated with refractive changes. Pantoscopic tilt dominated for prescriptions ≤−6.00 D, while vertex distance prevailed between −12.00 D and −6.00 D. **Conclusions**: Eye-ruler2 and the combination gauge demonstrated a high level of agreement in parameter measurements. Given its efficiency and user-friendliness, the digital technology is recommended to replace traditional methods for clinical use. Vertex distance and pantoscopic tilt have a significant impact on prescription power. Although face form has a minimal quantitative effect, it may induce against-the-rule astigmatism, which can compromise visual quality. For personalized spectacle fitting, it is essential to routinely measure vertex distance, pantoscopic tilt, and face form.

Keywords digital dispensing; spectacle fitting parameters; prescription compensation; precision dispensing; visual quality

Cite this article as: LIN Zhi, LU Linhao, WANG Zhenyu, WANG Jinyi, LIANG Junman. A comparison between new digital technologies and traditional methods in measuring spectacle parameters[J]. Yan Ke Xue Bao, 2026, 41(4): 284-296. DOI: 10.12419/25062604.

近年来，随着“十四五”全国眼健康规划工作的不断推进，人民群众的眼健康需求也在不断增长，对于视觉质量的要求也在不断提升，所以在验配过程中对于配镜参数的精准度要求也越来越高。配镜参数的精准测量是保障光学矫正效果和提升视觉质量的核心环节[1-3]。随着测量技术的不断发展，配镜参数测量的方法也从传统手工测量 (如五合一测量尺等) 逐步发展为数字化技术 (如 Nidek PM-700、Zeiss Visufit 和 Essilor Eye-ruler2 等)，而数字化技术无论是精准度还是便捷性都有显著提升。但目前市面上可测量配镜参数的方法众多，存在测量原理、采集范围和精度不同的问题。以往对于单一瞳距参数测量差异性研究较多[4-5]，但在临床上缺少数字化技术与手工方法测量配镜参数 (如镜眼距、前倾角及面弯) 之间的一致性研究。由于临床缺乏各方公认的配镜参数测量设备，因此视光师需要参考多种测量工具的结果，以提高其数据准确度。

目前临床上常规的配镜处方主要有屈光度及瞳距两个主要参数，而镜眼距、前倾角和面弯等并不作为常规测量及计算因素。镜眼距是指角膜前顶点至镜片后表面光学中心的轴向距离[6]，其变化可导致等效球镜度偏差 (如−14.00 D 的镜片，镜眼距从 12 mm 变为 14 mm，则计算得到有效屈光度数值变为−13.62 D)；前倾角是镜片与面部冠状面夹角[6]，其变化可能会产生初阶像差[7]中的水平顺规散光[8]，影响视觉质量[9](如：当镜片度数为−10 D，前倾角有 10°的倾斜时，实际配镜处方效果则会变为：−10.10 DS/−0.31 DC x 180)；面弯为镜框水平面的弯曲弧度[6]，因过大或不对称而产生倾斜，可能引入非对称的垂直逆规散光[3]；瞳距是指两眼瞳孔中心间的距离[6]，其测量误差会导致眼镜产生棱镜效果[3]，造成视觉不适[10]和视疲劳[11-12]等不良影响。在临床使用试镜架或者综合验光仪验光时，镜眼距通常被认为是 12 mm，前倾角和面弯度数为 0，而在真实世界配镜参数则会受品牌定制、顾客的个人戴镜习惯和脸型等影响。以往有研究发现顾客戴镜不适可能与瞳距、前倾角和镜眼距等参数误差有关[13]，但在阐述镜眼距、面弯、前倾角等参数对于实际屈光度的影响时，仅局限于理论推导[2-3, 14-15]。

本研究旨在评估数字化新技术 (Eye-ruler2) 与传统手动测量方法 (五合一测量尺) 在配镜参数的一致性，并进一步探索两种测量技术下相关参数对矫正处方的影响，为眼镜精准验配及视觉质量提升提供依据和思路。

1 对象和方法

1.1 研究对象

这项研究于 2024 年 12 月在广州新华学院招募了年龄在 18~23 岁、单眼或双眼近视且佩戴框架眼镜的在校大学生 103 人。所有研究对象为单纯近视或复合近视散光，排除合并其他眼部疾病、全身疾病、曾进行眼部手术和外伤史者。

该研究已获得中山眼科中心伦理委员会的批

准 (批件号：2024KYPJ153)。所有程序均遵循《赫尔辛基宣言》的原则。所有参与者均已签署知情同意书。

1.2　研究流程

1.2.1　研究流程概述

现场收集研究对象的名字和年龄等基本数据，研究者先测量框架眼镜度数，然后使用 Eye-ruler2 为研究对象测量镜眼距、前倾角、面弯和瞳距参数，最后使用五合一测量尺，为同一研究对象再次测量镜眼距、前倾角、面弯和瞳距参数。总检查时间在 10 ~ 15 min，上述所有测量均由同一经验丰富人员完成。

1.2.2　配镜参数测量

1.2.2.1　屈光度测量

使用电脑焦度计 (Nidek，LM-7P / 7) 测量镜片球镜度数 (DS)、柱镜度数 (DC) 及柱镜轴位 (A)，并记录左右镜片屈光度数据。

1.2.2.2　Eye-ruler2

Eye-ruler2 是一款个性化配镜参数测量仪器 (是基于 iPad 高清摄像头与图像识别算法快速获得眼镜参数的新技术)，把专用的镜头放在 iPad 上，通过拍摄两张照片 (正面和侧面) 自动定位瞳孔中心和镜框几何特征，即可以获得全部的配镜参数 (图 1、2)。

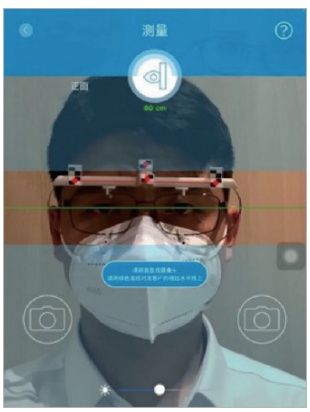


图 1　Eye-ruler2 正面拍摄的研究对象照片示例

Figure 1　Frontal imaging with Eye-ruler2 demonstrating subject positioning

操作步骤如下：启动 Eye-ruler2 并连接 iPad，建立档案。将镜架居中固定于测量夹，研究对象坐姿端正，双眼平视，头部距 iPad 屏幕 60 ~ 75 cm，且居中绿色准线。正面拍摄时 (图 1) 需垂直放置 iPad，注视摄像头拍摄，获取瞳距、镜眼距及面弯；侧面拍摄时 (图 2)，需研究对象头部转动 20°±5°，校正红色标识后拍摄，同步分析前倾角。随后进行镜框标定：用方框标记法对齐镜框内边缘，选择材质 (金属/板材/无框/半框)，验证并修正标记。最终系统自动输出参数 (如异常，则数据标红，需重新测量)；确认后导出数据，保存原始图像及数值。

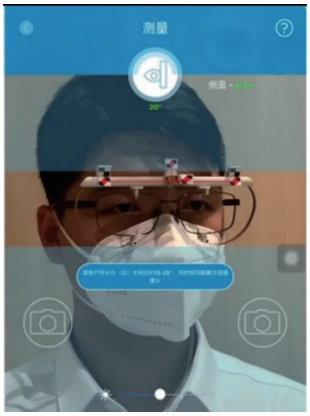


图 2　Eye-ruler2 侧面拍摄的研究对象照片示例

Figure 2　Lateral imaging with Eye-ruler2 demonstrating standardized subject positioning

1.2.2.3　五合一测量尺

该工具可单独测量镜眼距、前倾角、面弯和瞳距等配镜参数。其中镜眼距和前倾角参数需在研究对象戴镜状态下测量，面弯和瞳距则需在研究对象非佩戴状态下测量。

操作步骤如下：首先进行镜眼距测量，在研究对象佩戴眼镜状态下，使用五合一测量尺测量镜片后顶点至角膜顶点的轴向距离，左右眼各测量 3 次计算平均值 (保留小数点后一位)(图 3)；然后进行前倾角测量，在研究对象自然佩戴眼镜后，测量镜片平面与面部冠状面的夹角，分别测量 3 次后计算平均值 (保留小数点后一位)(图 4)；随后进行面弯测量，使用五合一测量尺对镜架水平面弧度进行非佩戴状态下的静态测量，重复 3 次计

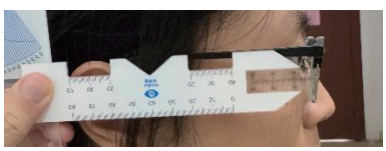


图 3　使用五合一测量尺测量镜眼距参数示例

Figure 3　Vertex distance measurement using a combination gauge

算平均值 (保留小数点后一位)(图 5)；最后进行瞳距测量时，通过五合一测量尺测量研究对象的双眼瞳孔中心水平距离，重复 3 次计算平均值 (保留小数点后一位)(图 6)。



图 4 使用五合一测量尺测量前倾角参数示例

Figure 4 Pantoscopic tilt measurement using a combination gauge

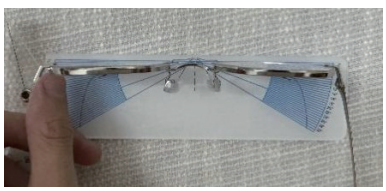


图 5 使用五合一测量尺测量面弯参数示例

Figure 5 Face form measurement using a combination gauge



图 6 使用五合一测量尺测量瞳距参数示例

Figure 6 Pupillary distance measurement using a combination gauge

1.3 统计学分析

连续变量以均值±标准差 (正态分布) 或中位数 (四分位距)(非正态分布) 表示，分类变量以频数 (百分比) 描述。

本研究采用 Bland-Altman 分析评估 Eye-ruler2 与五合一测量尺在配镜参数测量中的一致性，计算平均偏差 (Bias) 及其 95% 一致性界限 (limits of agreement, LoA)。计算两种测量方法对同一配镜参数的组内相关系数 (ICC)，依据标准[16]分级：ICC<0.50 为“差”，0.50~0.74 为“中等”，0.75~0.90 为“较好”，ICC>0.90 为“极好”。

为评估基于镜眼距、前倾角和面弯配镜参数对总屈光变化量 (总屈光变化量=镜眼距屈光变化量+前倾角屈光变化量+面弯屈光变化量) 的贡献程度，首先计算各参数的屈光变化量 (其中镜眼距屈光变化量采用顶点力补偿公式[3]计算，前倾角和面弯屈光变化量采用马丁公式[3]计算，变化量均保留原始正负符号)，随后取其绝对值并求和得到总绝对变化量 (|Δ 镜眼距| + |Δ 前倾角| + |Δ 面弯|)。各参数的贡献程度以绝对变化量占比表示 (即单个参数绝对变化量与总绝对变化量的百分比)。各个屈光变化量同时存在正负值，旨在通过绝对值转换消除了参数间正负抵消效应。采用 Friedman 检验和符号秩和检验比较 3 个参数的绝对贡献度百分比差异。采用 Spearman 秩相关分析评估总屈光变化量与等效球镜度的相关性。以局部加权散点平滑 (Lowess) 曲线展示总屈光变化量、镜眼距屈光变化量、前倾角屈光变化量及面弯屈光变化量与等效球镜度的关系。

采用 Stata 16.0 (StataCorp LP, USA) 进行统计分析，α=0.05。

2 结果

2.1 研究对象基本情况

本研究共纳入 103 名大学生，其中等效球镜度 (左眼/右眼)、右眼镜眼距 (Eye-ruler2/五合一测量尺)、左眼镜眼距 (Eye-ruler2/五合一测量尺)、前倾角 (Eye-ruler2/五合一测量尺)、面弯 (Eye-ruler2/五合一测量尺) 等数据见表 1。

2.2 Eye-ruler2 与五合一测量尺测量参数结果的一致性分析

在 Bland-Altman 图中展示了 Eye-ruler2 和五合一测量尺在左右眼镜眼距、前倾角、面弯和瞳距测量中的一致性 (图 7)。

右眼镜眼距、左眼镜眼距、前倾角、面弯和瞳距测量平均偏差和 95%LoA 数据见表 2；右眼镜眼距、左眼镜眼距、前倾角、面弯和瞳距测量分别有 4.85%(5/103)、5.83%(6/103)、5.83%(6/103)、5.83%(6/103) 和 3.88%(4/103) 测量值超出 95%LoA。右眼镜眼距和瞳距测量时线点占比小于 5%，表明 Eye-ruler2 和五合一测量尺在这两个测量参数中具有一定程度的一致性。

一致性分析显示，瞳距测量具有极好的一致性 (ICC=0.95)，镜眼距测量右眼 (ICC=0.76) 和左眼 (ICC=0.80) 分别达到较好一致性水平，前倾角一致性中等 (ICC=0.67)，而面弯测量一致性较差 (ICC=0.37)。

表 1　研究对象基本情况 (*n*=103)
Table 1　Baseline characteristics of participants (*n*=103)

特征	数值
研究对象，*n*(%)	
男	43(41.7)
女	60(58.3)
年龄/岁	19.55±1.14
等效球镜度数/D	
右眼	−3.97±2.05
左眼	−3.71±2.18
右眼镜眼距/mm	
Eye-ruler2	11.14±3.11
五合一测量尺	10.39±2.85
左眼镜眼距/mm	
Eye-ruler2	11.10±3.28
五合一测量尺	10.36±3.12
前倾角/(°)	
Eye-ruler2	5.36±5.58
五合一测量尺	5.06±4.03
面弯/(°)	
Eye-ruler2	2.61±1.99
五合一测量尺	3.76±1.48
瞳距/mm	
Eye-ruler2	62.90±3.28
五合一测量尺	62.71±3.42

2.3　各项配镜参数对屈光度的绝对贡献

本研究分析了两种测量技术下配镜参数对屈光度的绝对贡献，Eye-ruler2 与传统五合一分析结果相似 (表 3、4)。

Eye-ruler2 所测量的右眼镜眼距、前倾角和面弯对于处方的总屈光变化量均值为−0.12 D；右眼镜眼距屈光变化量均值为−0.04 D；前倾角屈光变化量均值为−0.06 D；面弯屈光变化量均值为−0.01 D；其中各项参数屈光变化量绝对值占比的均值分别为右眼镜眼距 40.61%、前倾角 41.83%、面弯 16.57%(表 3)。符号秩检验显示，前倾角与镜眼距对屈光度的绝对贡献 (屈光变化量绝对值的占比) 比较差异无统计学意义 (*P*=0.851)，而面弯与镜眼距及前倾角对屈光度的绝对贡献比较差异均有统计学意义 (*P* 均 <0.001)。

2.4　原等效球镜度与各配镜参数影响下屈光变化量之间的关系

局部加权回归曲线图中显示总屈光变化量与原等效球镜度呈正相关 (r_s 为 0.647~0.722 之间，*P* 均 <0.001)，随着眼镜等效球镜度近视度数的增加，总屈光变化量也在逐渐增加 (图 8)。当眼镜等效球镜度在−6.00 D 内时，总屈光变化量主要受前倾角影响；在−6.00 D 范围外时，曲线局部提示镜眼距对屈光变化量的影响更大 (图 8)。

3　讨论

本研究对数字化新技术 Eye-ruler2 与传统方法五合一测量尺在配镜参数 (如镜眼距、前倾角、面弯及瞳距) 的一致性进行比较。结果显示新技术和传统方法在瞳距、镜眼距、前倾角的一致性好，而面弯一致性较差。Eye-ruler2 具有自动识别图像与头位校准功能，通过 iPad 上专用的镜头为受检者近距离 (60 ~ 75 cm) 拍摄正面及侧面照片 (图 1、2)，并通过数字化照片分析，即可获得一系列参数结果，具有简便快捷、易操作和受检者体验感好等优点。而传统测量方法，不仅依赖操作者的熟练程度，而且对每项参数测量都需经过专门培训方可掌握，如测量镜眼距需准确定位角膜顶点及镜片后表面位置等，这就需要测量者了解眼睛的解剖等专业知识。笔者认为数字化新技术可以取代传统方法获得各项配镜参数，Eye-ruler2 在推

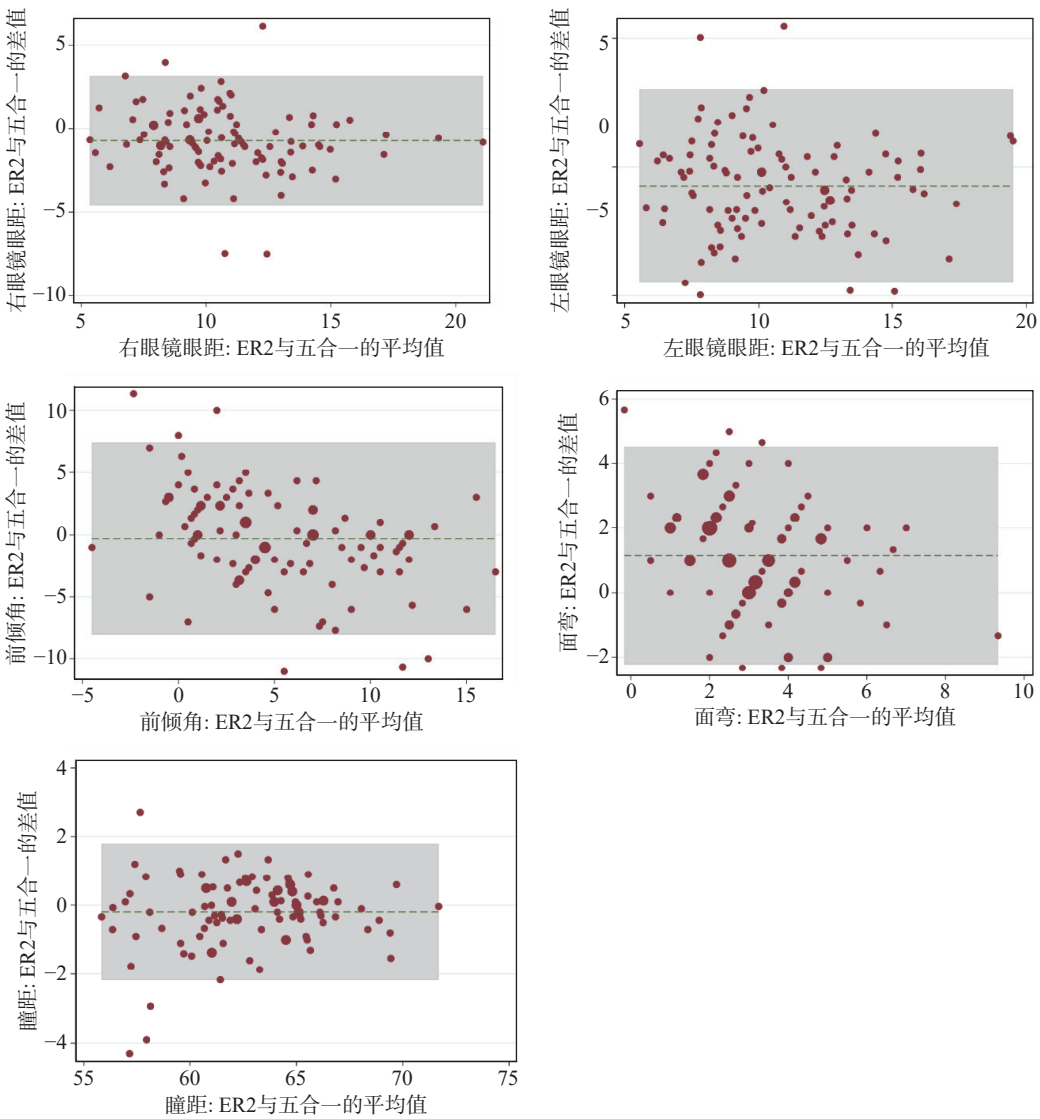


图 7　Eye-ruler2 和五合一测量尺测量参数的 Bland-Altman 图

Figure 7　Bland-Altman plots for spectacle parameter measurements: Eye-ruler2 *vs* combination gauge

最左列从上到下分别代表 Eye-ruler2 和五合一测量尺测量右眼镜眼距、前倾角和瞳距参数的 Bland-Altman 图，最右列从上到下分别代表 Eye-ruler2 和五合一测量尺测量左眼镜眼距、面弯参数的 Bland-Altman 图；图中绿色虚线为 Eye-ruler2 与五合一测量尺分别测量相同配镜参数的差值均值；图中阴影的上下线为一致性界限 LoA 的上下限。

Left column (top to bottom): Bland-Altman plots for right-eye monocular vertex distance, pantoscopic tilt, and monocular PD measured by Eye-ruler2 and Combination Gauge respectively; Right column (top to bottom):Bland-Altman plots for left-eye monocular vertex distance and face form measured by Eye-ruler2 and Combination Gauge respectively; Green dashed line: Mean difference between device measurements for identical spectacle parameters; Shaded area boundaries: Upper and lower limits of agreement (LoA, 95% CI).

广使用上较五合一测量尺具有更大优势。

本研究结果显示两种技术测量镜眼距的一致性良好 (右眼镜眼距 ICC=0.76，左眼镜眼距 ICC=0.80)。镜眼距是角膜顶点与镜片后表面之间的距离，笔者团队用传统方法五合一测量尺测量时发现，镜片后表面顶点较难判断，因为镜片是透明的，而 Eye-ruler2 通过自动图像识别技术可获得相关数据，解决临床经验不足可能导致的误差。前倾角是镜片与面部冠状面夹角，两种技术测量呈现中等一致性 (ICC=0.67)，主要原因是传统方法测量前倾角时容易受到受检者头位影响，比如下巴上扬或者低头的习惯，都会影响传统方法测

表 2　Eye-ruler2 和五合一测量尺测量参数结果比较

Table 2　Agreement in spectacle parameter measurements between Eye-ruler2 and combination gauge

参数	五合一	ER2	Bias(95% CI)	LoA	ICC(95% CI)
镜眼距/mm					
右眼	10.39±2.85	11.14±3.11	−0.74(−1.13, −0.36)	(−2.18, 1.79)	0.76(0.66, 0.83)
左眼	10.36±3.12	11.10±3.28	−0.74(−1.12, −0.37)	(−2.23, 4.53)	0.80(0.72, 0.86)
前倾角/(°)	5.06±4.03	5.36±5.58	−0.30(−1.07, 0.47)	(−8.02, 7.43)	0.67(0.55, 0.77)
面弯/(°)	3.76±1.48	2.61±1.99	1.15(0.81, 1.49)	(−4.61, 3.12)	0.37(0.20, 0.53)
瞳距/mm	62.71±3.42	62.90±3.28	−0.19(−0.39, 0.00)	(−4.50, 3.02)	0.95(0.93, 0.97)

ICC: 组内相关系数；Bias:平均偏差；CI：置信区间；LoA：一致性界限；五合一：五合一测量尺；ER2：Eye-ruler2。
ICC: intraclass correlation coefficient; Bias: mean difference between two methods; CI: confidence interval; LOA: limits of agreement; CG: combination gauge; ER2: Eye-ruler2.

表 3　Eye-ruler2 测量的右眼各参数屈光变化量、总屈光变化量与占比情况

Table 3　Refractive power changes and proportional contributions from Eye-ruler2 measurements in the right eye

参数	原始数据/D			绝对值占比/%	
	Mean±SD	min	max	Mean±SD	Range
总屈光变化量	−0.12±0.15	−0.85	0.05		
各参数屈光变化量					
镜眼距(OD)	−0.04±0.11	−0.82	0.07	40.61±30.77	(0,100)
前倾角	−0.06±0.09	−0.44	0	41.83±32.77	(0,96.55)
面弯	−0.01±0.01	−0.07	0	16.57±22.86	(0,100)

OD：右眼。
OD: right eye.

表 4 五合一测量尺测量的右眼各参数屈光变化量、总屈光变化量与占比情况

Table 4 Refractive power changes and proportional contributions from combination gauge measurements in the right eye

参数	原始数据/D			绝对值占比/%	
	Mean±SD	min	max	Mean±SD	Range
总屈光变化量	−0.10±0.11	−0.57	0.09		
各参数屈光变化量					
镜眼距(OD)	−0.04±0.08	−0.44	0.09	39.14±28.80	(0,93.45)
前倾角	−0.04±0.06	−0.31	0	36.39±28.48	(0,94.03)
面弯	−0.02±0.02	−0.10	0	23.49±21.01	(0,97.30)

OD：右眼。

OD: right eye.

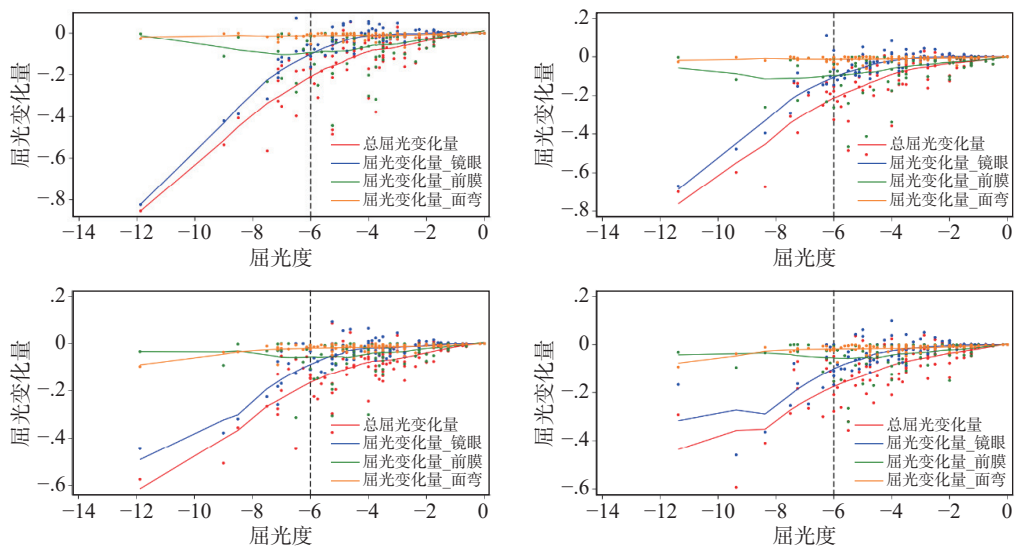


图 8 两种技术总屈光变化量、镜眼距屈光变化量、前倾角屈光变化量和面弯屈光变化量局部加权回归曲线图

Figure 8 Lowess regression curves: total refractive change and parameter-specific changes (vertex distance, pantoscopic tilt, face form) by measurement technique

最左列从上到下分别代表 Eye-ruler2 和五合一测量尺测量下右眼各屈光变化量局部加权回归曲线图，最右列从上到下分别代表 Eye-ruler2 和五合一测量尺测量下左眼各屈光变化量局部加权回归曲线图；总屈光变化量：测量各参数影响下总体屈光变化量；屈光变化量_镜眼：镜眼距影响下的屈光变化量；屈光变化量_前倾：前倾角影响下的屈光变化量；屈光变化量_面弯：面弯影响下的屈光变化量。

Left column (top to bottom): Lowess regression curves for refractive changes in the right eye measured by Eye-ruler2 and Combination Gauge, respectively. Right column (top to bottom): Lowess regression curves for refractive changes in the left eye measured by Eye-ruler2 and Combination Gauge, respectively; Total refractive change: Overall refractive change induced by all parameters; Refractive change_VD: Change induced by vertex distance; Refractive change_PT: Change induced by pantoscopic tilt; Refractive change_FF: Change induced by face form.

量的前倾角度数；而 Eye-ruler2 在拍照中会提示受检者头位调整到正确位置，从而减少了因为头位偏差导致的前倾角误差，所以我们认为 Eye-ruler2 的测量结果会更接近眼镜实际的前倾角度数。面弯为镜框水平面的弯曲弧度，面弯结果显示一致性差 (ICC=0.37)，传统工具在离体状态下测得的值较 Eye-ruler2 真实戴镜状态的值高 1.15 度。笔者认为一致性差有以下原因：一是两种技术在面弯测量上存在显著的方法学差异，传统的面弯测量是在离体状态下 (即手持眼镜架在桌面对照卡尺测得)，而 Eye-ruler2 则是在真实戴镜状态下测得；二是在戴镜状态下和离体状态下面弯可能本身就不同，因为镜框材质 (金属/板材) 和鼻托压力可能动态影响面弯角度，所以 Eye-ruler2 面弯结果应该更接近实际佩戴的状态。

本研究还通过分析各参数对处方度数的影响，为评估实际戴镜度数效果提供量化依据，即探讨临床在试镜架验配的配镜处方和实际佩戴的框架眼镜度数的效果差距的问题。既往研究可能更关注镜眼距对处方的理论影响，如−7.00 D 近视眼镜处方 (默认镜眼距 12 mm)，而当实际框架眼镜的镜眼距为 17 mm 时，若单纯考虑镜眼距的影响，则实际戴镜效果为−6.75 D[2]。前倾角和面弯目前仅在少量个性化验配渐进镜时作为常规测量参数。根据马丁公式，对于近视眼来说，前倾角会导致额外的水平顺规散光[3, 8]，面弯会导致垂直逆规散光[3]，远视眼则相反，而散光作为初阶像差对于视觉质量的影响至关重要[17]。本研究显示，镜眼距与前倾角对配镜处方等效屈光度的绝对贡献等同 (P=0.851)，分别为 40.6% 与 41.8%。同时结果显示当处方等效球镜度在−6.00 D 内 (中低度近视) 时，前倾角对处方度数的影响更大，这提示我们在常规验配时需更加关注前倾角因素；而在−6.00 D (高度近视) 以上时，镜眼距的影响更大 (图 8)，这提示我们在面对高度近视人群 (<−6.00 D) 精准验配时更需要关注到镜眼距因素，这与既往的理论研究结果[2-3]相似。在真实世界，眼镜不能达到处方的实际效果的问题普遍存在。因为本研究对象主要为中度近视的大学生，总处方度数影响均值为−0.12 D。姚婷婷等[18]关于精准验光的研究中，发现 0.05 D 进阶处方相比 0.25 D 进阶处方，矫正视力和空间频率对比敏感度更好，这说明随着 0.05 D 精准验光等研究的不断深入，对于更精准配镜的需求也将不断提升。且随着视觉质量需求向立体视锐度、像差容忍度等高阶指标延伸，未来个性化定制的眼镜将为满足更清晰和舒适的视觉质量要求提供有效途径[19]，本文的结果将为临床配镜高质量的发展提供依据。

本研究显示，Eye-ruler2 测得前倾角均值为 5.36°，低于临床范围 (8°~15°)[20]和黄种人推荐范围 (8°~10°)[3]，这提示真实佩戴框架眼镜的前倾角度数和既往理论存在不一致情况。提示我们是否亚洲人群因鼻梁较高加索人种更低平的原因造成，是否需重新审视及修正临床参考范围 (如将 8°~10° 下调至 5°~8°) 还需更多研究数据来证实。面弯虽在总体处方度数中影响有限 (占比 16.57%)，但对于有些特殊设计的太阳镜或者运动眼镜的近视眼镜个性化定制，建议全面考虑眼镜架各参数对度数的影响，计算实际眼镜处方，提升用户舒适度。

本研究仍存在以下局限性：1) 样本量较少可能影响数据结果，日后研究需扩大样本量。2) 本文未能涵盖参数对视觉质量的影响，下一步可结合波前像差仪等设备，量化参数偏差与主观视觉质量的关联性。3) 研究对象未进行分类，将来建议有条件下可以对高度近视与中低度近视研究对象进行分组研究。4)Keating 等[21]的研究讨论了前倾角和面弯的组合公式，Harris 等[22]利用旋转矩阵来表示空间中的旋转，并借鉴了三阶光学中关于斜中心折射研究前倾角的影响；本研究仅采用马丁公式进行计算前倾角和面弯对于处方的影响，未来可结合其他研究进一步探究其影响。5) 本研究未进行瞳高、单眼瞳距等参数一致性的比对，因为本文聚焦于处方度数的影响，并未探究棱镜效果所带来的视疲劳等影响，未来可结合双眼视功能检查进行深入研究。在目前个性化配镜[23-25]及镜架定制[26-28]逐渐普及的前景下，镜眼距、前倾角和面弯的个性化参数定制逐渐呈现大众化的趋势。我们建议视光师对于镜眼距、前倾角和面弯这三个参数更加关注，共同为民众视觉质量提升助力，最终实现从光学矫正到视觉质量提升的跨越。

综上所述，Eye-ruler2 与五合一测量尺在该研究中测量参数的一致性好，数字化新技术可以替代传统测量方法并推广使用。镜眼距和前倾角对于处方度数的影响等同，当处方度数在−6.00 D 以内时前倾角影响更大，在−6.00 D 以上时则镜眼距

的影响更大；面弯虽然对处方度数影响较其他参数更小，但其造成逆规散光对视觉质量影响可能较大。所以我们认为在未来个性化配镜的前景下，在配镜时常态化测量镜眼距、前倾角和面弯，可以为个性化镜片定制提供更多依据，以提升群众视觉质量。

声明

在论文撰写中无使用生成式人工智能。论文撰写中的所有内容均由作者独立完成，并对出版物的真实性和准确性承担全部责任。

利益冲突

所有作者均声明不存在利益冲突。

开放获取声明

本文适用于知识共享许可协议 (Creative Commons)，允许第三方用户按照署名 (BY)-非商业性使用 (NC)-禁止演绎 (ND)(CC BY-NC-ND) 的方式共享，即允许第三方对本刊发表的文章进行复制、发行、展览、表演、放映、广播或通过信息网络向公众传播，但在这些过程中必须保留作者署名、仅限于非商业性目的、不得进行演绎创作。

参考文献

1. 杨晨皓, 汪芳润. 关于验光配镜问题的几点认识与建议[J]. 中国实用眼科杂志, 2008, 26(9): 892-893. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2008.09.004.
Yang CH, Wang FR. Some understandings and suggestions on optometry and glasses[J]. Chin J Pract Ophthalmol, 2008, 26(9): 892-893. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2008.09.004.
2. 褚巧燕, 袁小燕. 镜眼距离对球面屈光不正光学矫正的影响[J]. 河南职工医学院学报, 2013, 25(6): 680-682.
Chu QY, Yuan XY. Effect of the distance between lens and eyes on the optical correction of sphecical ametropia[J]. J Henan Med Coll Staff Work, 2013, 25(6): 680-682.
3. 梅颖, 唐志萍. 框架眼镜配戴不适常见原因分析[J]. 玻璃搪瓷与眼镜, 2022, 50(3): 22-30. DOI: 10.13588/j.cnki.g.e.2096-7608.2022.03.005.
Mei Y, Tang ZP. Analysis of common reason for uncomfortable wearing spectacles[J]. Glass Enamel& Ophthalmic Opt, 2022, 50(3): 22-30. DOI: 10.13588/j.cnki.g.e.2096-7608.2022.03.005.
4. 韩联仪, 黄燕, 李忠, 等. 米制直尺、电脑验光机与瞳距仪测量双眼瞳距的差异性研究[J]. 海南医学, 2004, 15(4): 32-33. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6350.2004.04.017.
Han LY, Huang Y, Li Z, et al. The role of metric ruler, videorefactor and pupillometer in measuring pupillary distance[J]. Hainan Med J, 2004, 15(4): 32-33. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6350.2004.04.017.
5. Gantz L, Shneor E, Doron R. Agreement and inter-session repeatability of manual and automatic interpupillary distance measurements[J]. J Optom, 2021, 14(4): 299-314. DOI: 10.1016/j.optom.2020.08.010.
6. M Robinson, Doyle. ANSI Z80.1 prescription ophthalmic lenses: recommendations[M]//Essentials of Ophthalmic Lens Finishing. Amsterdam: Elsevier, 2003: 355-359. DOI: 10.1016/b978-0-7506-7213-9.50027-1.
7. 王雁, 赵堪兴. 波前像差与临床视觉矫正[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2011: 185-186.
Wang Y, Zhao KX. Wavefront aberration and clinical vision correction[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2011: 185-186.
8. Bakaraju RC, Ehrmann K, Ho A, et al. Pantoscopic tilt in spectacle-corrected myopia and its effect on peripheral refraction[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2008, 28(6): 538-549. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2008.00589.x.
9. 陈云云, 陈世豪, 王勤美. 近视及近视散光眼高阶像差与对比度视力间的关系[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2011, 13(3): 198-201. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2011.03.009.
Chen YY, Chen SH, Wang QM. Correlation of contrast visual acuity with higher-order aberrations in myopia and myopic astigmatism[J]. Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci, 2011, 13(3): 198-201. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2011.03.009.
10. 梅煜坤, 梅建忠, 高海丽. 12448 例配镜处方临床分析[J]. 中外医学研究, 2021, 19(7): 178-180. DOI: 10.14033/j.cnki.cfmr.2021.07.065.
Mei YK, Mei JZ, Gao HL. Clinical analysis of 12448 spectacle

prescriptions[J]. Chin Foreign Med Res, 2021, 19(7): 178-180. DOI: 10.14033/j.cnki.cfmr.2021.07.065.

11. 王莉, 杨扬, 刘文兰, 等. 高校学生配镜不适引起视疲劳的临床分析[J]. 国际眼科杂志, 2015, 15(1): 122-124. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2015.1.35.
Li W, Yang Y, Liu WL, et al. Clinical analysis of asthenopia caused by wearing inappropriate glasses in college students[J]. Int Eye Sci, 2015, 15(1): 122-124. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2015.1.35.
12. 董坤丽, 杨继君, 陈露, 等. 视疲劳 500 例临床病因分析[J]. 国际眼科杂志, 2011, 11(8): 1477-1478. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5123.2011.08.057.
Dong LK, Yang JJ, Chen L, et al. Clinical analysis of 500 cases of asthenopia[J]. Int J Ophthalmol, 2011, 11(8): 1477-1478. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5123.2011.08.057.
13. 吴敏, 刘丽娟. 新镜配戴不适与旧镜参数的关系分析[J]. 眼视光学杂志, 2009, 11(4): 303-305. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2009.04.019.
Wu M, Liu LJ. The effect of the parameters of old spectacles on new ones that cause discomfort in patients[J]. Chin J Optom Ophthalmol, 2009, 11(4): 303-305. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2009.04.019.
14. Tang CY. Influence of lens vertex distance changes on prismatic effect and decentration[J]. Optom Vis Sci, 1989, 66(9): 591-593. DOI: 10.1097/00006324-198909000-00004.
15. Novis C. Astigmatism and the toric intraocular lens and other vertex distance effects[J]. Surv Ophthalmol, 1997, 42(3): 268-270. DOI: 10.1016/s0039-6257(97)00091-x.
16. Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research[J]. J Chiropr Med, 2016, 15(2): 155-163. DOI: 10.1016/j.jcm.2016.02.012.
17. Kaye SB, Rubin A, Evans T, et al. Standardised approach to the reporting and presentation of refractive data: electronic patient record[J]. BMJ Open Ophthalmol, 2022, 7(1): e001015. DOI: 10.1136/bmjophth-2022-001015.
18. 姚婷婷, 王继红. 人眼对镜片度数变换敏感度阈值的探索及使用小进阶镜片的临床研究[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2023, 25(1): 56-61. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20220415-00146.
Yao TT, Wang JH. Exploration on the sensitivity threshold of human eyes to lens degree transformation and clinical study on using small advanced lenses[J]. Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci, 2023, 25(1): 56-61. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20220415-00146.
19. 许建文. 个性化近视眼镜镜架设计方法研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2022.
Xu JW. Research of the design approach for personalized myopic glasses frame[D]. Quanzhou: Huaqiao University, 2022.
20. 瞿佳, 陈浩. 眼镜学[M]. 3 版. 北京: 人民卫生出版社, 2017: 199-200.
Qu J, Chen H. The spectacle contactology[M]. 3th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2017: 199-200.
21. Keating MP. Oblique central refraction in spherocylindrical corrections with both faceform and pantoscopic tilt[J]. Optom Vis Sci, 1995, 72(4): 258-265. DOI: 10.1097/00006324-199504000-00006.
22. Harris WF. Sequential tilt and tilted power of thin lenses[J]. Optom Vis Sci, 2006, 83(4): 249-253. DOI: 10.1097/01.opx.0000214327.65375.5a.
23. 王军骅. 眼镜参数化设计及智能配镜系统开发[D]. 大连: 大连理工大学, 2019.
Wang JH. Parametric design of spectacle and development of intelligent spectacle fitting system [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2019.
24. 刘雨东. 基于头部三维信息的眼镜在线定制系统设计及体验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014. DOI: 10.7666/d.D592405.
Liu YD. The Resesrch on glass online customization system design based on three-dimension of held and its experience [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014. DOI: 10.7666/d.D592405.
25. Tang SH, Shan Z, Jiang GM. Personalizing of Spectacles[J]. Eye Science, 2012, 27(4): 220-224. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4432.2012.04.015.
26. 李惠芳. 面向细小镜架的参数化三维重建技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2021.
Li HF. Parametric 3D reconstruction technology for thin glasses

frame [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2021.

27. 王玲. 基于个性定制框架眼镜的精准近视管理验配技术[J]. 玻璃搪瓷与眼镜, 2024, 52(5): 20-26. DOI: 10.13588/j.cnki.g.e.2096-7608.2024.05.004.
Wang L. Precise myopia management fitting technology based on personalized customization frame glasses[J]. Glass Enamel& Ophthalmic Opt, 2024, 52(5): 20-26. DOI: 10.13588/j.cnki.g.e.2096-7608.2024.05.004.

28. 张迪婧. 基于用户个性化需求的眼镜数字化设计方法[D]. 大连: 大连理工大学, 2020.
Zhang DJ. A spectacles digital design method based on user's personalized demands[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2020.

(责任编委: 王丽丽; 编辑: 殷秋霞)