

自适应光学视觉模拟仪验光与传统验光的一致性研究

周桂梅 谭青青 廖莹 钱玖林 兰长骏

川北医学院附属医院眼科 川北医学院眼视光医学院,南充 637000

通信作者:兰长骏,Email:lanchangjun@sina.com

【摘要】 目的 评价睫状肌麻痹状态下自适应光学视觉模拟仪(VAO)与传统主客观验光的差异性及其一致性。方法 采用诊断性试验研究方法,于2019年11月在川北医学院附属医院纳入健康受试者31例31眼,其中男15例15眼,女16例16眼;平均年龄(20.1±1.0)岁;均取右眼为受检眼。睫状肌麻痹状态下分别采用VAO和传统主客观验光方法对受试者进行验光,记录球镜度、柱镜度以及矢量散光度 J_0 和 J_{45} 。采用配对 t 检验比较不同验光方法验光值差异,采用组内相关系数(ICC)和Bland-Altman图评价2种验光方法的一致性。结果 VAO主觉验光和综合验光仪主觉验光测得的球镜度、柱镜度、 J_0 和 J_{45} 的ICC分别为0.97、0.75、0.84和0.09。VAO和电脑验光仪客观验光测得的球镜度、柱镜度、 J_0 和 J_{45} 的ICC分别为0.98、0.70、0.74和0.61。VAO主觉验光与综合验光仪主觉验光方法测得的球镜度、柱镜度、 J_0 和 J_{45} 差值分别为(0.05±0.32)、(-0.23±0.28)、(-0.10±0.14)和(-0.04±0.16)D,其中2种主觉验光方法测量的柱镜度和 J_0 比较,差异均有统计学意义(均 $P<0.01$),球镜度和 J_{45} 比较,差异均无统计学意义($P=0.41, 0.18$);VAO与电脑验光仪客观验光测得的球镜度、柱镜度、 J_0 和 J_{45} 的差值分别为(-0.70±0.26)、(-0.07±0.46)、(-0.03±0.27)和(0.01±0.12)D,其中VAO客观验光测量的球镜度较电脑验光仪明显偏负,差异有统计学意义($t=15.09, P<0.01$),2种客观验光方法测量的柱镜度、 J_0 和 J_{45} 比较差异均无统计学意义($P=0.39, 0.59, 0.63$)。2种客观验光方法测量的球镜度、柱镜度、 J_0 和 J_{45} 与综合验光仪主觉验光相应值的差值比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。结论 睫状肌麻痹状态下,VAO客观验光测量的球镜度与电脑验光仪相比更偏负;但VAO与综合验光仪主觉验光测得的球镜度和散光矢量值均具有较好的一致性,且测量差值临床可以接受。

【关键词】 验光; 自适应光学视觉模拟仪; 睫状肌麻痹; 一致性

基金项目:四川省卫计委重点课题项目(18ZD022);南充市校企合作重大攻关项目(18SXHZ0492)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200526-00375

Agreement evaluation between adaptive optics visual simulator and conventional refraction methods

Zhou Guimei, Tan Qingqing, Liao Xuan, Qian Jiulin, Lan Changjun

Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Medical School of Ophthalmology & Optometry, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, China

Corresponding author: Lan Changjun, Email: lanchangjun@sina.com

[Abstract] **Objective** To evaluate the difference and agreement of cycloplegic refraction between adaptive optics visual simulator (VAO) and conventional refraction methods. **Methods** A diagnostic test study was conducted. Thirty-one eyes of 31 healthy subjects including 15 males and 16 females were enrolled in November, 2019 in Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College. Mean age of the subjects was (20.1±1.0) years, and the right eye was taken for data analysis. Cycloplegic refraction was measured by VAO and conventional refraction methods, respectively. Spherical power, cylindrical power, Jackson cross-cylinder power at axis 90° and 180° (J_0) and Jackson cross-cylinder power at axis 45° and 135° (J_{45}) vector powers were recorded. Paired t -test was used to compare the refractive parameters between different refraction methods, and the intraclass correlation coefficient (ICC) and Bland-Altman plots were used to evaluate the agreement between VAO and conventional refraction methods. This study adhered to the Declaration of Helsinki, and the research protocol was approved by an Ethics Committee of Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College (No. 2020ER[A]018). Written informed consent was obtained from each subject prior to any medical examination. **Results** For subjective refraction, the ICC for

spherical power, cylindrical power, J_0 and J_{45} between VAO and phoropter were 0.97, 0.75, 0.84 and 0.09, respectively. For objective refraction, the ICC for spherical power, cylindrical power, J_0 and J_{45} between VAO and autorefractor were 0.98, 0.70, 0.74 and 0.61, respectively. The mean differences in spherical power, cylindrical power, J_0 and J_{45} between VAO and phoropter were (0.05 ± 0.32) , (-0.23 ± 0.28) , (-0.10 ± 0.14) and (-0.04 ± 0.16) D, respectively, and the differences in cylindrical power and J_0 were statistically significant (both at $P < 0.01$), whereas no significant differences in spherical power and J_{45} were found ($P = 0.41, 0.18$). The mean differences in spherical power, cylindrical power, J_0 and J_{45} measured by VAO and autorefractor were (-0.70 ± 0.26) , (-0.07 ± 0.46) , (-0.03 ± 0.27) and (0.01 ± 0.12) D, respectively, and the spherical power measurement by VAO was significantly more negative than the autorefractor ($t = 15.09, P < 0.01$), while no significant differences in cylindrical power, J_0 and J_{45} were found ($P = 0.39, 0.59, 0.63$). No significant difference values in spherical power, cylindrical power, J_0 and J_{45} were found between the two objective refraction methods and phoropter subjective refraction (all at $P > 0.05$). **Conclusions** With cycloplegia, spherical power obtained by VAO objective refraction is more negative compared with autorefractor. There is a good agreement of spherical power and astigmatism vector values measured by VAO and phoropter subjective refraction, and the measurement differences are clinically acceptable.

[Key words] Optometry; Adaptive optics visual simulator; Cycloplegia; Agreement

Fund program: Key Project of Sichuan Health and Family Planning Commission (18ZD022); Key Project of Nanchong City and University Cooperation (18SXHZ0492)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200526-00375

屈光不正是儿童和青少年视力下降的主要原因,近视是常见的屈光不正类型。近年来,我国儿童和青少年近视患病率逐年升高,且逐渐呈低龄化趋势^[1]。预计至 2050 年全球将有 47.58 亿人患有近视,约占总人口的 50%^[2-3]。未矫正的屈光不正严重影响学习和生活,准确测量屈光度并确定最佳矫正处方是屈光不正矫正的关键^[4-5]。目前临床上广泛应用的传统验光方法仍然是以检影验光或电脑客观验光作为初始屈光度数参考,结合综合验光仪或直接插片的主观验光。最近面世的自适应光学视觉模拟器(adaptive optics visual simulator, VAO)结合了像差测量和自适应光学技术,通过 Hartmann-Shack 波前传感器测量像差,并将测得的低阶像差数据转换为客观屈光度值,为主觉验光提供起始屈光度数^[6-8];主觉验光模块则由自适应空间光学调制器实现^[9-11],该调制器内置的 50 万片静电压控的超微晶体通过彼此间相对位置的变化改变光线路径,从而模拟球镜、柱镜等光学透镜,检查者则可以通过软件交互界面实现球镜或柱镜的改变,从而检查患者的主觉屈光度^[12-15]。目前 VAO 相关临床研究较少,其临床应用价值仍不十分明确。本研究拟对睫状肌麻痹状态下 VAO 与传统主客观验光结果的一致性及差异性进行分析,并比较 2 种方法的主客观验光误差值,以评估 VAO 主客观验光临床应用的可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用诊断性试验研究方法,于 2019 年 11 月在川

北医学院附属医院纳入健康受试者 31 例 31 眼,其中男 15 例 15 眼,女 16 例 16 眼;年龄 19~23 岁,平均 (20.1 ± 1.0) 岁,均取右眼为受检眼。纳入标准:(1)健康青年;(2)主觉验光等效球镜度为 $-0.75 \sim -6.00$ D。排除标准:(1)2 周内佩戴软性角膜接触镜或 4 周内佩戴硬性角膜接触镜者;(2)除屈光不正外患有其他眼部疾病者;(3)有角膜屈光手术或眼外伤史者;(4)近期接受可能影响眼屈光的局部或全身药物治疗者。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,经川北医学院附属医院伦理委员会审核批准[批文号:2020ER(A)018]。所有受检者均签署知情同意书。

1.2 方法

采用电脑验光仪(ARK-510A,日本 Nidek 公司)结合综合验光仪(包括 RT-5100 型视力检查仪和 CP-770 型视力表投影仪)(日本 Nidek 公司)的传统验光法和 VAO(西班牙 Voptica 公司)分别对每位受检者进行验光。验光前,采用体积分数 1% 环戊酮滴眼液(美国 Alcon 公司)对受检眼行睫状肌麻痹,每次 1 滴,共 2 次,间隔时间为 15 min。第 2 次点眼后嘱受检者闭目休息 30 min,然后行主客观验光。每位受检者的检查顺序均为电脑验光、综合验光仪主觉验光、VAO 验光。所有操作均由同一名经验丰富的验光师于 9:00~18:00 进行。比较散光时,使用矢量散光分析法^[16]将散光转换为散光矢量 J_0 和 J_{45} ,其中 $J_0 = -C/2 \times \cos 2\alpha$; $J_{45} = -C/2 \times \sin 2\alpha$,其中 C 为负柱镜度; α 为柱镜轴向; J_0 为 Jackson 交叉柱镜,轴在 90° 和 180° 方向; J_{45} 为 Jackson 交叉柱镜,轴在 45° 和 135° 方向。

1.2.1 综合验光仪主观验光 (1) 矫正视力到 0.6, 进行散光盘粗调散光度数和轴向; (2) 矫正视力到 0.8, 第 1 次红绿平衡; (3) JCC 散光轴向确定; (4) JCC 散光度数确定; (5) 再次红绿平衡; (6) 确定视力。

1.2.2 VAO 客观验光 采用快速模式进行客观验光, 测量前嘱受检者瞬目数次, 嘱其注视探测头内视标; 调整 VAO 使其对准受检眼, 待屏幕上出现的 Hartmann-Shack 图像各点均清晰可见、角膜反射最小化时进行测量。测量 3 次后屏幕显示客观验光的平均值。

1.2.3 VAO 主观验光 在 VAO 客观验光基础上进行主观验光: (1) 降低客观屈光度至视力为 0.8; (2) JCC 散光轴向确定; (3) JCC 散光度数确定; (4) 确定视力。VAO 主观验光不行雾视和红绿测试。测量矫正视力时采用鼓励猜测的方式, 每行有 5 个视标, 判断 3 个及以上视标正确即记为该行对应的视力。主观验光遵循最正度数之最佳视力的验光原则。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 26.0 统计学软件(美国 IBM 公司)进行统计分析。本研究中各计量资料经 Kolmogorov-Smirnov 检验证实符合正态分布, 以 $\bar{x} \pm s$ 表示。2 种主客观验光方法测得的球镜度、柱镜度、 J_0 和 J_{45} 差异比较采用配对 t 检验。采用组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 和 Bland-Altman 分析对 2 种主客观验光方法测量球镜度、柱镜度、 J_0 和 J_{45} 的一致性进行评估, 其中 $ICC < 0.5$ 提示一致性差, $0.5 \leq ICC \leq 0.75$ 提示一致性中等, $0.75 < ICC \leq 0.9$ 提示一致性良好, $ICC > 0.9$ 提示一致性极好^[17]。采用双尾检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 VAO 与电脑验光仪及综合验光仪验光值比较

睫状肌麻痹状态下, VAO 客观验光测得的球镜度比电脑验光仪更偏负, 差异有统计学意义 ($t = 15.09$, $P < 0.01$), 且平均差异大于 0.50 D。VAO 与电脑验光仪客观验光测得的柱镜度、 J_0 和 J_{45} 比较差异均无统计学意义 ($P = 0.39, 0.59, 0.63$) (表 1)。

睫状肌麻痹状态下, VAO 与综合验光仪主观验光测得的球镜度和 J_{45} 比较差异均无统计学意义 ($P = 0.41, 0.18$); VAO 与综合验光仪主观验光测得的柱镜度和 J_0 比较差异均有统计学意义 (均 $P < 0.01$), 但差异明显小于 0.50 D, 不具有临床意义 (表 2)。

表 1 VAO 与电脑验光仪客观验光结果比较 ($\bar{x} \pm s, D$)
Table 1 Comparison of objective refraction results between VAO and autorefractor ($\bar{x} \pm s, D$)

验光仪	眼数	球镜度	柱镜度	J_0	J_{45}
VAO	31	-3.86 ± 1.35	-0.77 ± 0.59	-0.27 ± 0.37	0.04 ± 0.16
电脑验光仪	31	-3.16 ± 1.40	-0.69 ± 0.59	-0.25 ± 0.37	0.03 ± 0.12
t 值		15.09	0.88	0.55	-0.49
P 值		<0.01	0.39	0.59	0.63

注: (配对 t 检验) VAO: 自适应光学视觉模拟仪; J_0 : Jackson 交叉柱镜的屈光力在 90° 与 180° 方向的分量; J_{45} : Jackson 交叉柱镜的屈光力在 45° 与 135° 方向的分量

Note: (Paired t -test) VAO: adaptive optics visual simulator; J_0 : Jackson cross-cylinder power at axis 90° and 180° ; J_{45} : Jackson cross-cylinder power at axis 45° and 135°

表 2 VAO 与综合验光仪主观验光结果比较 ($\bar{x} \pm s, D$)
Table 2 Comparison of subjective refraction results between VAO and phoropter ($\bar{x} \pm s, D$)

验光仪	眼数	球镜度	柱镜度	J_0	J_{45}
VAO	31	-3.49 ± 1.23	-0.61 ± 0.42	-0.22 ± 0.27	-0.04 ± 0.13
综合验光仪	31	-3.54 ± 1.40	-0.37 ± 0.39	-0.12 ± 0.22	0.00 ± 0.11
t 值		-0.85	4.60	4.14	1.39
P 值		0.41	<0.01	<0.01	0.18

注: (配对 t 检验) VAO: 自适应光学视觉模拟仪; J_0 : Jackson 交叉柱镜的屈光力在 90° 与 180° 方向的分量; J_{45} : Jackson 交叉柱镜的屈光力在 45° 与 135° 方向的分量

Note: (Paired t -test) VAO: adaptive optics visual simulator; J_0 : Jackson cross-cylinder power at axis 90° and 180° ; J_{45} : Jackson cross-cylinder power at axis 45° and 135°

2.2 VAO 与电脑验光仪及综合验光仪屈光度测量一致性

Bland-Altman 分析图显示, VAO 与综合验光仪主观验光测得的球镜度差异均数接近 0, 且仅有 1/31 的点在 95% 一致性界限外, 说明 VAO 与综合验光仪主观验光测量球镜度的一致性较好。VAO 与电脑验光仪客观验光测得的球镜度差值均数为 -0.70 D, 差异有临床意义, 1/31 的点在 95% 一致性界限外, 说明 VAO 客观验光测得的球镜度较电脑验光仪更偏向近视方向 (图 1A, E)。

VAO 与综合验光仪主观验光测得的柱镜度、 J_0 和 J_{45} 分别有 0/31、2/31、2/31 的点在 95% 一致性界限外, VAO 与综合验光仪主观验光测量柱镜度、 J_0 和 J_{45} 差值均值分别为 -0.23、-0.10 和 -0.04 D, 其绝对值均小于 0.50 D, 说明 2 种方法主观验光测得的柱镜度、 J_0 和 J_{45} 一致性较好 (图 1B~D)。VAO 与电脑验光仪客观验光测得的柱镜度、 J_0 和 J_{45} 分别有 2/31、3/31、1/31 的点在 95% 一致性界限外, 说明 2 种方法客观验光测得柱镜度、 J_0 、 J_{45} 的一致性较好 (图 1F~H)。

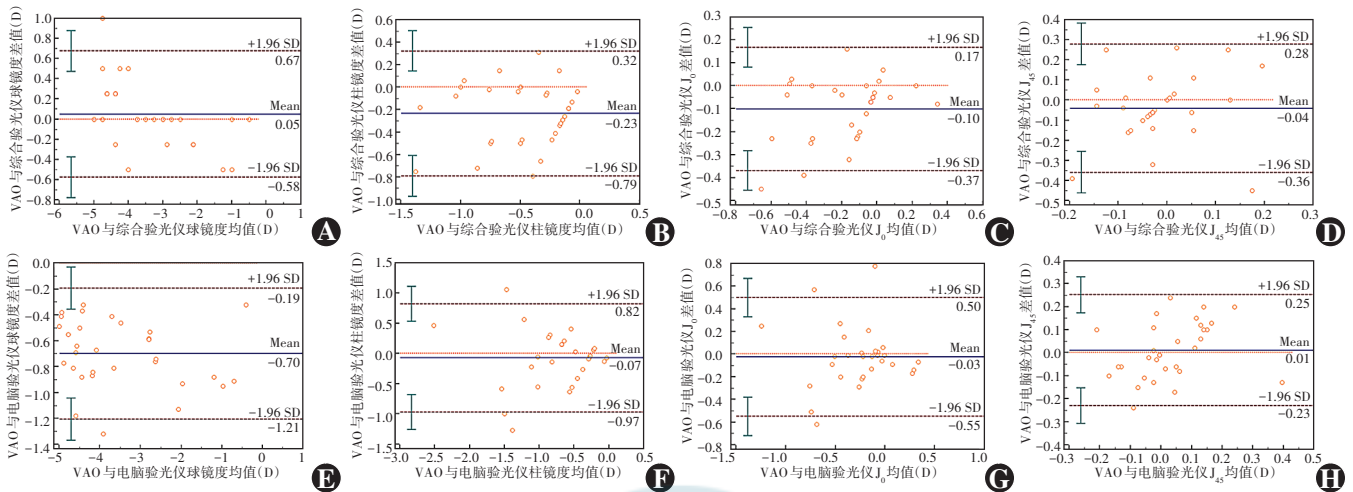


图 1 VAO 与综合验光仪、电脑验光仪验光结果 Bland-Altman 图 A~D:VAO 与综合验光仪主观验光结果 Bland-Altman 图 E~H:VAO 与电脑验光仪客观验光结果 Bland-Altman 图 VAO:自适应光学视觉模拟仪;J₀:Jackson 交叉柱镜的屈光力在 90°与 180°方向的分量;J₄₅:Jackson 交叉柱镜的屈光力在 45°与 135°方向的分量

Figure 1 Bland-Altman plots for the comparison of refraction values measured by VAO, phoropter and autorefractor A~D:Bland-Altman plots for the comparison of subjective refraction values between VAO and phoropter E~H:Bland-Altman plots for the comparison of objective refraction values between VAO and autorefractor VAO:adaptive optics visual simulator;J₀:Jackson cross-cylinder power at axis 90° and 180°;J₄₅:Jackson cross-cylinder power at axis 45° and 135°

2.3 不同仪器测得客观验光值与综合验光仪测得主观验光值差值比较

VAO 和电脑验光仪测得的客观验光与综合验光仪主观验光测得的球镜度、柱镜度、J₀ 和 J₄₅ 差值均数的绝对值均小于 0.50 D,说明睫状肌麻痹状态下 2 种客观验光方法均有较高的准确性。2 种仪器客观验光值与综合验光仪主观验光值的差值比较差异均无统计学意义(均 P>0.05)(表 3)。

表 3 不同仪器客观验光值与综合验光仪主观验光值差值的比较($\bar{x}\pm s, D$)

Table 3 Comparison of the differences in examination parameters between two objective refractions and phoropter subjective refraction ($\bar{x}\pm s, D$)

验光仪	与综合验光仪主观验光各值差值			
	球镜度	柱镜度	J ₀	J ₄₅
VAO	-0.32±0.24	-0.39±0.44	-0.16±0.27	0.03±0.17
电脑验光仪	0.38±0.20	-0.32±0.34	-0.13±0.21	0.02±0.09
t 值	0.91	0.88	-0.55	0.49
P 值	0.37	0.39	0.59	0.63

注:(配对 t 检验) VAO:视觉自适应光学视觉模拟仪;J₀:Jackson 交叉柱镜的屈光力在 90°与 180°方向的分量;J₄₅:Jackson 交叉柱镜的屈光力在 45°与 135°方向的分量

Note:(Paired t-test) VAO:adaptive optics visual simulator;J₀:Jackson cross-cylinder power at axis 90° and 180°;J₄₅:Jackson cross-cylinder power at axis 45° and 135°

3 讨论

儿童和青少年睫状肌调节能力较强,且年龄越小调节能力越强^[18-19]。研究表明,7~18 岁学龄期儿童

和青少年非睫状肌麻痹下与睫状肌麻痹下验光度数相差较大,且更偏向于负值^[20]。Morgan 等^[21]提出睫状肌麻痹验光是测量屈光度的金标准,可以排除调节对验光的影响。

本研究采用新型眼科设备 VAO 测量睫状肌麻痹下的屈光状态,并与传统验光结果进行比较,结果显示 VAO 客观验光测量球镜度较电脑验光仪测量值偏近视方向,差异有统计学意义;VAO 主观验光与综合验光仪测得的球镜度、柱镜度、J₀ 和 J₄₅ 差值均较小,在临床可接受的范围内。Hervella 等^[9]比较了 VAO 与传统插片主观验光屈光度的一致性,发现 2 种方法测量等效球镜度、J₀ 和 J₄₅ 的 ICC 均大于 0.94,平均差异均接近于 0 D,说明 VAO 与传统插片主观验光屈光度的一致性极好。在本研究中,2 种主观验光方法测量球镜度的 ICC 为 0.97,一致性极好,J₀ 的 ICC 为 0.84,一致性良好,J₀ 一致性存在差异的原因可能是本研究的样本量较小并且 J₀ 值相对较小,较小的变化即可引起数据分布散乱,导致 ICC 降低。2 种主观验光方法与 2 种客观验光方法得出的 J₄₅ 测量值也存在类似的情况,J₄₅ 测量值更小,故在样本量较小的情况下易导致数据分布散乱,ICC 值很低。

林政桦等^[10]研究发现,10~19 岁受检者在非睫状肌麻痹状态下,VAO 客观验光测得的球镜度比电脑验光仪更偏近视方向;VAO 主观验光测得的球镜度与综合验光仪差值无临床意义,与本研究结果一致;2 种方法主客观验光测得 J₀ 和 J₄₅ 的差值均较小,无临床意义。然而,本研究中不同客观验光测得的球镜度差值

绝对值较林政桦等^[10]偏大,而不同主观验光测得的球镜度差值却优于林政桦等^[10]的结果,这可能与使用的电脑验光仪型号不同、本研究主观验光时鼓励受试者辨认视标方向、睫状肌麻痹后基于像差原理客观验光的 VAO 屈光测量受瞳孔散大影响等因素有关。近来,Taberner 等^[22]研究发现,非睫状肌麻痹状态下,VAO 主观验光结果与传统插片主观验光结果一致性较强,并且在健康受检者中的验光一致性较在患有眼部疾病的受检者中高;但是 VAO 主观验光结果与传统插片验光结果仍存在一些差异,即 VAO 主观验光结果更偏近视方向,因此建议二者不能互用。本研究中发现,综合验光仪主观验光结果与 VAO 主观验光结果的差异无统计学意义,其可能是因为综合验光仪和 VAO 都是在眼前放置检查仪器,仪器诱发的近感知性调节相似。

为了进一步证实 VAO 验光的临床可行性,本研究进行了以下完善:(1)使用睫状肌麻痹剂 正常状态下,眼存在调节功能,调节导致测得的屈光度较实际值更偏近视方向,睫状肌麻痹可帮助放松调节,使验光结果更加准确;(2)比较主客观验光的误差 虽然 VAO 客观验光与电脑验光仪测得的球镜度差异有统计学意义,但是综合验光仪测得的球镜度值处于这 2 种方法测得的球镜度值之间,并且这 2 种方法各验光值与综合验光仪主观验光的差值均较小,且差异无统计学意义,说明 VAO 和电脑验光仪均能提供可靠且较准确的客观验光度数。本研究亦存在一些不足之处,如未能对验光时间进行记录且样本量较小,未能对受检者进行屈光度分层以检验不同屈光度范围内各验光方法的一致性。

自适应光学技术可以全部或部分矫正人眼像差,甚至诱导某特定像差^[23]。VAO 是一款结合 Hartmann-Shack 波前传感器和自适应光学技术的仪器,其能够测量、矫正和模拟眼在特定光学条件下的像差、测量主观屈光度数和部分视功能相关信息。最早在 1997 年,便有研究者采用自适应光学技术矫正人眼低阶像差(离焦和散光)和高阶像差,并且首次在活体状态下获得了低阶像差矫正无法达到的“超视力(supernormal vision)”^[24]。有研究指出由于神经适应,矫正高阶像差后视力并无明显提升^[25];但是除高阶像差外,人眼达到“超视力”还受衍射等其他因素的影响。因此后续研究需要在排除衍射和其他影响因素后探讨矫正高阶像差是否有达到“超视力”的可能。

综上所述,本研究采用睫状肌麻痹排除了调节对屈光度测量的影响,并进行了主客观验光误差的比较,发现新型仪器 VAO 验光与传统验光临床差异较小,进

一步证实了这种利用像差原理的新型验光方法与传统验光的一致性较好,VAO 验光具有较好的临床应用前景。

利益冲突 所有作者均声明不存在任何利益冲突

作者贡献声明 周桂梅:直接参与试验研究、采集数据、分析和解释数据、文章撰写;谭青青:参与设计试验、对文章的知识性内容作批评性审阅、数据统计分析;廖萱:参与设计试验、对文章的知识性内容作批评性审阅、技术指导;钱玖林:直接参与试验研究、采集数据;兰长骏:参与设计试验、对文章中知识性内容作批评性审阅、获取研究经费

参考文献

- [1] Wang SK, Guo Y, Liao C, et al. Incidence of and factors associated with myopia and high myopia in Chinese children, based on refraction without cycloplegia [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2018, 136(9): 1017-1024. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2018.2658.
- [2] Pan CW, Chen X, Gong Y, et al. Prevalence and causes of reduced visual acuity among children aged three to six years in a metropolis in China [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2016, 36(2): 152-157. DOI: 10.1111/opo.12249.
- [3] Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050 [J]. *Ophthalmology*, 2016, 123(5): 1036-1042. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006.
- [4] Kumaran SE, Balasubramaniam SM, Kumar DS, et al. Refractive error and vision-related quality of life in South Indian children [J]. *Optom Vis Sci*, 2015, 92(3): 272-278. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000494.
- [5] Kandel H, Khadka J, Goggin M, et al. Impact of refractive error on quality of life: a qualitative study [J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2017, 45(7): 677-688. DOI: 10.1111/ceo.12954.
- [6] Vohnsen B, Carmichael Martins A, Qaysi S, et al. Hartmann-Shack wavefront sensing without a lenslet array using a digital micromirror device [J/OL]. *Appl Opt*, 2018, 57(22): E199-E204 [2021-04-23]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30117885/>. DOI: 10.1364/AO.57.00E199.
- [7] 戴云, 肖飞, 赵军磊, 等. 自适应光学人眼像差调控及其应用 [J]. *光电工程*, 2018, 45(3): 170703. DOI: 10.12086/oe.2018.170703. Dai Y, Xiao F, Zhao JL, et al. Ocular aberrations manipulation with adaptive optics and its application [J]. *Opto-Electron Eng*, 2018, 45(3): 170703. DOI: 10.12086/oe.2018.170703.
- [8] Battu R, Dabir S, Khanna A, et al. Adaptive optics imaging of the retina [J]. *Indian J Ophthalmol*, 2014, 62(1): 60-65. DOI: 10.4103/0301-4738.126185.
- [9] Hervella L, Villegas EA, Prieto PM, et al. Assessment of subjective refraction with a clinical adaptive optics visual simulator [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2019, 45(1): 87-93. DOI: 10.1016/j.jcrs.2018.08.022.
- [10] 林政桦, 陈兆, 高文钰, 等. 一款新型主客观验光一体化设备的临床评估 [J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2019, 21(12): 888-894. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2019.12.002. Lin ZH, Chen Z, Gao WY, et al. Accuracy and efficiency of refraction for myopes based on the visual adaptive optics simulator [J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2019, 21(12): 888-894. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2019.12.002.
- [11] Prieto P, Fernández E, Manzanera S, et al. Adaptive optics with a programmable phase modulator: applications in the human eye [J]. *Opt Express*, 2004, 12(17): 4059-4071. DOI: 10.1364/opeX.12.004059.
- [12] Fernández EJ, Manzanera S, Piers P, et al. Adaptive optics visual simulator [J]. *J Refract Surg*, 2002, 18(5): S634-638.
- [13] Porter J, Queener H, Lin J, et al. Adaptive optics for vision science: principles, practices, design, and applications [M]. Hoboken, New

- Jersey: Wiley-Interscience, 2006: 3-11.
- [14] Manzanera S, Prieto PM, Ayala DB, et al. Liquid crystal adaptive optics visual simulator: application to testing and design of ophthalmic optical elements [J/OL]. *Opt Express*, 2007, 15(24): 16177-16188 [2021-04-26]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19550905>. DOI: 10.1364/oe.15.016177.
- [15] Otero C, Vilaseca M, Arjona M, et al. Comparison of the adaptive optics vision analyzer and the KR-1 W for measuring ocular wave aberrations [J]. *Clin Exp Optom*, 2017, 100(1): 26-32. DOI: 10.1111/cxo.12413.
- [16] Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error [J]. *Optom Vis Sci*, 1997, 74(6): 367-375. DOI: 10.1097/00006324-199706000-00019.
- [17] 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.
- [18] Adler D, Millodot M. The possible effect of undercorrection on myopic progression in children [J]. *Clin Exp Optom*, 2006, 89(5): 315-321. DOI: 10.1111/j.1444-0938.2006.00055.x.
- [19] Lin Z, Vasudevan B, Ciuffreda KJ, et al. The difference between cycloplegic and non-cycloplegic autorefractometry and its association with progression of refractive error in Beijing urban children [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2017, 37(4): 489-497. DOI: 10.1111/opo.12381.
- [20] Zhao J, Mao J, Luo R, et al. Accuracy of noncycloplegic autorefractometry in school-age children in China [J]. *Optom Vis Sci*, 2004, 81(1): 49-55. DOI: 10.1097/00006324-200401000-00010.
- [21] Morgan IG, Iribarren R, Fotouhi A, et al. Cycloplegic refraction is the gold standard for epidemiological studies [J]. *Acta Ophthalmol*, 2015, 93(6): 581-585. DOI: 10.1111/aos.12642.
- [22] Tabernero J, Otero C, Pardhan S. A comparison between refraction from an adaptive optics visual simulator and clinical refractions [J/OL]. *Transl Vis Sci Technol*, 2020, 9(7): 23 [2021-04-26]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32832229/>. DOI: 10.1167/tvst.9.7.23.
- [23] Guo H, DeLestrangre E. Experimentally observe the effect of spherical aberration on diffractive intraocular lens using adaptive optics [J/OL]. *J Biomed Opt*, 2015, 20(3): 036008 [2021-06-10]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25764312>. DOI: 10.1117/1.JBO.20.3.036008.
- [24] Liang J, Williams DR. Aberrations and retinal image quality of the normal human eye [J]. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 1997, 14(11): 2873-2883. DOI: 10.1364/josaa.14.002873.
- [25] Chen L, Artal P, Gutierrez D, et al. Neural compensation for the best aberration correction [J/OL]. *J Vis*, 2007, 7(10): 9.1-9 [2021-06-10]. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17997678>. DOI: 10.1167/7.10.9.

(收稿日期: 2021-08-28 修回日期: 2022-02-14)

(本文编辑: 张宇)

读者 · 作者 · 编者

本刊对来稿中作者署名的著录要求

作者向本刊投稿时署名应符合以下条件: (1) 参与课题的选题和实验设计, 参与实验资料的收集、分析和论证。(2) 参与论文的起草或能够对论文中的方法学或关键部分进行修改。(3) 能对审稿专家和编辑提出的修改意见进行核修, 能够答辩并承担责任。(4) 对论文的诚信负责。仅参与筹得资金或收集资料者以及仅对科研小组进行一般管理者均不宜署名为作者。文中如有外籍作者, 应附外籍作者亲笔签名的在本刊发表的同意函。集体署名的文章应于题名下列出署名单位, 于文末列出论文整理者的姓名, 并须明确该文的主要责任者。

作者署名的名次应按对论文贡献大小顺序排列于文题下方, 每篇论文须列出通信作者 1 名。如无特殊约定, 则视第一作者为通信作者。作者(包括通信作者)的署名及其排序应在投稿前由所有研究者共同讨论确定, 在编排过程中不宜变更或增减, 尤其是通信作者和前三名作者, 若确需变动者须提供所有署名作者的签名同意函并出示单位证明。有英文文题的论著和综述应有全部作者姓名的汉语拼音, 列于英文文题之下。

本刊对来稿中计量单位的使用要求

计量单位 计量单位的使用执行 GB 3100/3101/3102-1993《国际单位制及其应用/有关量、单位和符号的一般原则/(所有部分)量和单位》的有关规定, 具体执行可参照中华医学会杂志社编写的《法定计量单位在医学上的应用》第 3 版(人民军医出版社 2001 年出版)。作者在撰写论文时应注意单位名称与单位符号不可混用。组合单位符号中表示相除的斜线为 2 条时本刊采用 $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 的形式, 而不用 $\text{ng}/\text{kg}/\text{min}$ 的形式。应尽可能使用单位符号, 也可以与非物理单位(如: 人、次、台等)的汉字构成组合形式的单位, 如: 次/min。在叙述中请先列出法定计量单位数值, 括号内写旧制单位数值; 如果同一计量单位反复出现, 可在首次出现时注明法定计量单位与旧制单位的换算系数, 然后只列出法定计量单位数值。参量及其公差均需附单位, 当参量与其公差的单位相同时, 单位可只写 1 次, 即加圆括号将数值组合, 置共同单位符号于全部数值之后。例如: “ $75.4 \text{ ng}/\text{L} \pm 18.2 \text{ ng}/\text{L}$ ” 可以表示为 “ $(75.4 \pm 18.2) \text{ ng}/\text{L}$ ”。量的符号一律用斜体字, 如吸光度(旧称光密度)的符号为 A 。

根据国家质量技术监督局和卫生部联合发出的质技监局量函[1998]126 号文件《关于血压计量单位使用规定的补充通知》, 凡是涉及人体及动物体内的压力测定, 可以使用毫米汞柱 (mmHg) 或厘米水柱 (cmH_2O) 为计量单位, 但首次使用时应注明 mmHg 或 cmH_2O 与 kPa 的换算系数 ($1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$, $1 \text{ cmH}_2\text{O} = 0.098 \text{ kPa}$)。

(本刊编辑部)