

白内障术后不同全眼球差对视觉质量的影响

赵晓彬, 马清敏, 贾志旻

基金项目: 河北省卫生厅科研基金项目 (No. 20120216)

作者单位: (050051) 中国河北省石家庄市, 河北省人民医院眼科
作者简介: 赵晓彬, 博士, 主治医师, 研究方向: 白内障及眼视光学。

通讯作者: 赵晓彬. zhaoxiaobin8@163.com

收稿日期: 2014-05-13 修回日期: 2013-08-22

Effect of different ocular spherical aberration on visual performance after phacoemulsification

Xiao-Bin Zhao, Qing-Min Ma, Zhi-Yang Jia

Foundation item: Health Bureau Research Foundation of Hebei Province (No. 20120216)

Department of Ophthalmology, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050051, Hebei Province, China

Correspondence to: Xiao-Bin Zhao. Department of Ophthalmology, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050051, Hebei Province, China. zhaoxiaobin8@163.com

Received: 2014-05-13 Accepted: 2013-08-22

Abstract

• **AIM:** To compare the visual acuity and contrast sensitivity of eyes with different corneal spherical aberration implanted with the same aspherical IOL and evaluate the effect of different ocular spherical aberration on visual performance after phacoemulsification.

• **METHODS:** It was a prospective case series study. Forty-six eyes of thirty-nine age-related cataract patients in our department were included. The patients were divided into 3 groups according to the value of preoperative corneal spherical aberration. Eyes with corneal spherical aberration $\leq 0.2\mu\text{m}$ were assigned to group A, those with corneal spherical aberration $> 0.2\mu\text{m}$ and $\leq 0.3\mu\text{m}$ to group B, and those with corneal spherical aberration $\geq 0.3\mu\text{m}$ to group C. All patients underwent phacoemulsification and received AcrySof IQ aspheric IOL. Uncorrected visual acuity (UCVA), best-corrected visual acuity (BCVA), contrast sensitivity, and total ocular higher-order aberrations for a 6.0mm pupil were recorded 3mo postoperatively. ANOVA were used to analyze the data.

• **RESULTS:** There were no significant differences in UCVA and BCVA between the 3 groups ($P=0.287, 0.115$). Contrast sensitivity was no statistically significant difference between the 3 groups at any spatial frequency under photopic, mesopic, and mesopic with glare conditions ($P>0.05$). With a 6.0mm pupil diameter, root mean square values for total ocular higher-order aberrations were lower in groups A and B than that in

group C ($P=0.000$). The difference of total ocular spherical aberration was statistically significant between the 3 groups ($P=0.000$). Coma and trefoil were similar between the groups ($P=0.788, 0.590$), with no statistically significant differences.

• **CONCLUSION:** Implantation of the same aspherical IOL in eyes with different corneal spherical aberration results in similar visual acuity and contrast sensitivity. Small differences of ocular spherical aberration after phacoemulsification have no effect on visual performance.

• **KEYWORDS:** phacoemulsification; cataract; lens intraocular; spherical aberration

Citation: Zhao XB, Ma QM, Jia ZY. Effect of different ocular spherical aberration on visual performance after phacoemulsification. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2014;14(10):1793-1796

摘要

目的: 观察不同角膜球差患者植入相同非球面 IOL 后的视力及对比敏感度, 探讨白内障术后不同全眼球差对视觉质量的影响。

方法: 前瞻性病例系列研究。收集在我院就诊拟行手术治疗的年龄相关性白内障患者 39 例 46 眼。依据术前角膜球差将患眼分为 3 组。角膜球差 $\leq 0.2\mu\text{m}$ 者为 A 组, $\sim 0.3\mu\text{m}$ 者为 B 组, $> 0.3\mu\text{m}$ 者为 C 组。所有患者均行白内障超声乳化吸除联合 AcrySof IQ 非球面 IOL 植入术。术后 3mo 观察患者的裸眼视力 (uncorrected visual acuity, UCVA)、最佳矫正视力 (best-corrected visual acuity, BCVA)、对比敏感度及 6.0mm 瞳孔直径下的全眼高阶像差。采用方差分析对获得的数据进行统计学分析。

结果: 术后 3mo, 3 组患者的裸眼视力、最佳矫正视力差异无统计学意义 ($P=0.287, 0.115$)。对比敏感度在不同亮度背景下、不同空间频率差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。术后 6.0mm 瞳孔直径全眼总高阶像差均方根 A 组与 B 组小于 C 组, 差异有统计学意义 ($P=0.000$)。3 组间球差差异有统计学意义 ($P=0.000$), 彗差及三叶草差异无统计学意义 ($P=0.788, 0.590$)。

结论: 不同角膜球差患者植入相同非球面 IOL 后的视力及对比敏感度相似。白内障术后全眼球差的少量差异对视觉质量无明显影响。

关键词: 超声乳化白内障吸除术; 白内障; 人工晶状体; 球差

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2014.10.14

引用: 赵晓彬, 马清敏, 贾志旻. 白内障术后不同全眼球差对视觉质量的影响. 国际眼科杂志 2014;14(10):1793-1796

0 引言

波前像差技术在眼科的应用促进了对角膜及全眼像

差的认知。研究发现,人眼角膜球差为正值,且在一生中较稳定,而晶状体球差随年龄增长由负值逐渐转变为正值,失去了对角膜球差的补偿作用,从而导致视觉质量下降^[1,2]。为抵消角膜正球差的影响,恢复接近年轻人眼的视觉质量,诞生了非球面 IOL。目前,可供临床应用的非球面 IOL 有多种,球差范围 0~0.27 μm ,可使白内障患者术后达到不同的全眼球差。然而,应该如何选择非球面 IOL,白内障术后最佳的全眼球差量是多少,这些问题目前均存在争议。本研究通过前瞻性病例研究的方法,观察不同角膜球差患者植入相同非球面 IOL 后的视力及对对比敏感度,探讨白内障术后不同全眼球差对视觉质量的影响,为临床上合理选择非球面 IOL 提供参考。

1 对象和方法

1.1 对象 前瞻性病例研究。收集 2013-10/12 在我科就诊拟行手术治疗的年龄相关性白内障患者 39 例 46 眼。依据术前角膜球差将患眼分为 3 组。角膜球差 $\leq 0.2\mu\text{m}$ 者为 A 组, $\sim 0.3\mu\text{m}$ 者为 B 组, $> 0.3\mu\text{m}$ 者为 C 组。符合纳入排除标准的患者共 39 例 46 眼。其中 A 组 10 眼, B 组 22 眼, C 组 14 眼。3 组患者的年龄、IOL 度数差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。3 组患者术前角膜球差差异有统计学意义 ($P = 0.000$), 且两两比较差异均有统计学意义 ($P = 0.000$), 见表 1。所有患者均行白内障超声乳化吸除并植入 AcrySof IQ 非球面 IOL。病例入选标准: (1) 年龄相关性白内障; (2) 年龄 50~75 岁; (3) 眼轴长度 22~25mm; (4) 角膜散光小于 1.5D。病例排除标准: (1) 患有黄斑及视网膜疾病如黄斑变性、糖尿病性视网膜病变等; (2) 患有视神经疾病如缺血性视神经病变、视神经萎缩等; (3) 原发或继发性青光眼; (4) 角膜变性及营养不良; (5) 既往有屈光或内眼手术病史; (6) 术中或术后出现并发症如后囊膜破裂、IOL 偏位、后囊膜混浊等。所有患者均签署知情同意书。

1.2 方法 术前检查包括裸眼视力 (uncorrected visual acuity, UCVA)、最佳矫正视力 (best-corrected visual acuity, BCVA)、非接触眼压、屈光状态、角膜内皮细胞计数、详细的裂隙灯及眼底检查。Atlas 9000 角膜地形图系统测量角膜前表面像差。IOL-Master 或 A 超测量角膜曲率、前房深度及眼轴长度, 采用 SRK-T 公式计算 IOL 度数, 使术后屈光状态接近正视。所有手术均由同一位经验丰富的医师完成。表面麻醉后, 11:00 位行 3.0mm 透明角膜切口, 2:00 位行侧切口, 前房注入黏弹剂维持前房深度及保护角膜内皮细胞, 行直径 5.5mm 连续环形撕囊以预防后囊膜混浊及保持 IOL 居中, 水分离水分层后, 采用 WhiteStar 超声乳化机乳化吸除混浊晶状体核及皮质, 囊袋内植入 AcrySof IQ IOL, 吸除前房内残余黏弹剂, 水密封闭角膜切口。术后滴用妥布霉素地塞米松滴眼液及双氯芬酸钠滴眼液 1mo。术后 3mo 随访并进行以下检查: (1) 常规检查: 采用标准对数视力表检查 5m 远处 UCVA, 验光确定屈光状态及 BCVA。并进行详细的裂隙灯、眼底及眼压检查。 (2) 对比敏感度测量: 采用 CSV-1000E (美国 Vector Vision 公司) 测量最佳矫正视力状态下的对比敏感度。检查在暗室进行。测试距离为 2.5m, 分别检测不同亮度背景下 (明视 85cd/m²、暗视 3cd/m²、暗视+眩光), 四个不同空间频率 (3, 6, 12, 18c/d) 的对比敏感度, 并转化为对数单位。每种亮度背景下分别检测 2 次, 取平均值。 (3) 像差测量: 用复方托吡卡胺滴眼液将瞳孔散大至 6.0mm

表 1 三组患者术前的一般情况

指标	A 组 (n=10)	B 组 (n=22)	C 组 (n=14)	$\bar{x} \pm s$
年龄 (岁)	68.30 \pm 6.68	69.27 \pm 4.74	67.71 \pm 5.78	0.701
IOL 度数 (D)	19.95 \pm 1.23	20.20 \pm 1.25	20.71 \pm 1.12	0.281
角膜球差 (μm)	0.157 \pm 0.041	0.252 \pm 0.022	0.331 \pm 0.019	0.000

表 2 三组患者术后视力及等效球镜值

指标	A 组	B 组	C 组	$\bar{x} \pm s$
UCVA	4.870 \pm 0.106	4.845 \pm 0.110	4.907 \pm 0.121	0.287
BCVA	4.960 \pm 0.097	4.918 \pm 0.079	4.979 \pm 0.089	0.115
等效球镜值 (D)	-0.33 \pm 0.39	-0.41 \pm 0.36	-0.35 \pm 0.29	0.822

表 3 三组患者术后 6.0mm 瞳孔直径全眼高阶像差 ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

指标	A 组	B 组	C 组
彗差	0.192 \pm 0.041	0.196 \pm 0.033	0.187 \pm 0.035
三叶草	0.255 \pm 0.054	0.276 \pm 0.056	0.264 \pm 0.048
球差	-0.048 \pm 0.039	0.054 \pm 0.019	0.136 \pm 0.021
总高阶像差	0.491 \pm 0.069	0.538 \pm 0.076	0.637 \pm 0.074

以上, 采用 WASCA 波前像差仪测量术眼波前像差, 分析并采集 6.0mm 瞳孔直径下全眼总高阶像差均方根、球差、彗差及三叶草。该像差仪是基于 Hartmann-Shack 原理设计的波前像差测量系统。采集数据前要求患者迅速眨眼 1~2 次以减轻泪膜对像差测量结果的影响, 每只眼重复测量 3 次, 取平均值。

统计学分析: 采用 SPSS 16.0 软件对获得的数据进行统计学分析。计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示。经正态性检验及方差齐性检验后, 采用方差分析比较 3 组间视力、等效球镜值、高阶像差及对比敏感度的差异, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 术后视力 所有患者均未发生术中及术后并发症, 术后 3mo, 3 组的 BCVA、UCVA、等效球镜值比较差异无统计学意义 (表 2)。

2.2 术后全眼像差 术后 6.0mm 瞳孔直径全眼高阶像差结果见表 3。全眼总高阶像差均方根 A 组与 B 组小于 C 组, A 组与 C 组, B 组与 C 组比较差异有统计学意义 ($P = 0.000$), A 组与 B 组之间差异无统计学意义 ($P = 0.107$)。3 组间球差比较差异均有统计学意义 ($P = 0.000$), 彗差及三叶草差异无统计学意义 ($P = 0.788, 0.590$, 表 3)。

2.3 对比敏感度 如表 4 所示, 术后 3mo 3 组的对比敏感度在明视下各个空间频率 (3, 6, 12, 18c/d) 差异无统计学意义 ($P = 0.680, 0.720, 0.730, 0.440$)。对比敏感度在暗视下各个空间频率 (3, 6, 12, 18c/d) 差异无统计学意义 ($P = 0.220, 0.464, 0.726, 0.623$)。在暗视+眩光状态下各个空间频率 (3, 6, 12, 18c/d) 差异亦无统计学意义 ($P = 0.228, 0.431, 0.377, 0.772$)。

3 讨论

随着白内障超声乳化技术及人工晶状体材料和设计的发展, 如何获取更好的术后视觉质量成为现代白内障手术追求的新目标。研究发现, 在没有任何眼部疾病的情况下, 人眼对比敏感度随年龄增长逐渐下降。因为晶状体球差随年龄增长由负值逐渐转变为正值, 失去了对角膜正性球差的补偿作用, 从而导致全眼球差增加^[2]。球差的增加可导致视网膜影像质量下降。球面 IOL 植入术后的视

表4 三组在明视、暗视、暗视+眩光状态下各个空间频率的对比敏感度 $\bar{x} \pm s$

指标	频率 (c/d)	A组	B组	C组	P
明视	3	1.57±0.14	1.53±0.15	1.52±0.18	0.680
	6	1.72±0.17	1.75±0.20	1.71±0.15	0.720
	12	1.44±0.17	1.48±0.22	1.43±0.19	0.730
	18	0.86±0.16	0.92±0.20	0.84±0.19	0.440
暗视	3	1.33±0.13	1.37±0.18	1.26±0.17	0.220
	6	1.49±0.20	1.54±0.19	1.46±0.16	0.464
	12	0.98±0.17	1.05±0.21	1.03±0.28	0.726
	18	0.53±0.15	0.55±0.20	0.49±0.19	0.623
暗视+眩光	3	1.17±0.14	1.21±0.15	1.13±0.12	0.228
	6	1.24±0.20	1.29±0.25	1.18±0.21	0.431
	12	0.82±0.20	0.88±0.23	0.78±0.21	0.377
	18	0.29±0.15	0.33±0.18	0.31±0.17	0.772

觉质量下降,包括眩光、对比敏感度下降等与术后球差的增加有关^[3]。非球面 IOL 由于具有负球差或零球差,植入后可消除或减少术后全眼球差。

Wang 等^[4]通过对 228 眼的观察报道 6.0mm 直径角膜球差的正常值为 0.280±0.086 μm ,其中小于 0.2 μm 的比例为 15.4%,在 0.2~0.4 μm 之间的比例为 77.6%,大于 0.4 μm 的比例为 7%。由于不同个体之间角膜球差的差异较大,因此 Dick^[5]建议非球面 IOL 的植入应根据患者的角膜球差进行个性化选择。然而,目前关于白内障术后的最佳球差值仍有争议。Levy 等^[6]研究发现全眼球差为 +0.1 μm 者拥有超级视力,推测术后应保留 +0.1 μm 球差。Peirs 等^[3]采用自适应光学研究发现,当全眼球差为零时,对比敏感度最佳。Wang 等^[7]发现大部分术眼在球差为零的情况下,并不能获得最佳的视觉质量,术后最佳球差有较大的变化范围。

对非球面 IOL 植入术后全眼球差对视觉质量影响的观察,以往多以相应球面 IOL 作为对照。或将不同非球面 IOL 随机植入白内障手术患者,观察术后视觉质量的差异。对不同角膜球差患者植入相同非球面 IOL 后视觉质量的差异,国内外鲜有报道。本研究采用的 ArcySof IQ IOL 为负球差非球面 IOL,球差为 -0.20 μm ,植入术后可降低全眼球差。

本研究发现,3 组患者的最佳矫正视力差异无统计学意义。Mester 等^[8]及 Bellucci 等^[9]研究发现,与球面 IOL 相比,非球面 IOL 植入术后可获得更好的最佳矫正视力。然而,其他作者的研究显示球差的不同对最佳矫正视力无明显影响^[10,11]。Schuster 等^[12]通过对以往的文章进行 Meta 分析,报道非球面及球面 IOL 植入术后视锐度无明显差异,目前的视力检查方法不能发现由球差减少造成的细微的视力改变。本研究与以往多数研究结果一致,表明最佳矫正视力对球差的改变不敏感,不是衡量球差大小对视功能影响的敏感指标。

传统的视力检查是在高对比度下进行的视功能检查。与视力检查相比,对比敏感度检查能更准确的评价视功能的改变。本研究发现,尽管 3 组患眼术后全眼球差明显不同,然而,对比敏感度在不同亮度背景下、不同空间频率差异均无统计学意义。原因可能有以下几个方面:首先,组间球差的差异较小,不足以引起对比敏感度的变化。以往的研究发现,与球面 IOL 相比,非球面 IOL 可提高暗光下

的对比敏感度^[13-15]。然而,不同的非球面 IOL 之间相比,对比敏感度的差异无统计学意义^[16,17]。Johansson 等^[16]对 Tecnis Z9000 (球差为 -0.27 μm) 及 Akreos AO (球差为 0 μm) IOL 植入术后的视觉质量进行了多中心研究,结果显示二者对比敏感度无明显差异。Nabh 等^[17]观察了球差分别为 -0.27, -0.20, 0 μm 的 3 种不同球差的非球面 IOL,发现 3 者植入术后对比敏感度相似。而非球面 IOL 与球面 IOL 相比,球差的差异较大,因而暗光下的对比敏感度结果可呈现出统计学差异^[13-15]。Kasper 等^[18]认为球差的变化需达到一定的阈值才能引起对比敏感度的差异。尽管球差对视觉质量的负性影响已被证实,但该阈值的大小却尚不明确^[19]。第二,瞳孔大小对检查结果的影响。本研究中,术后全眼球差为在 6.0mm 瞳孔直径下测量所得。事实上,即便是在暗光条件下,并不是每一个患者的瞳孔直径都可以达到 6.0mm。研究发现,瞳孔直径随年龄的增长逐渐缩小。Yamaguchi 等^[20]对平均年龄为 68 岁的假晶状体眼人群的瞳孔直径进行了观察,结果显示瞳孔直径在暗光下为 3.60±0.57mm,在亮光下为 2.90±0.50mm。小瞳孔可以减弱球差对视觉质量的影响^[21]。Yamaguchi 等^[20]指出当瞳孔直径小于 3.0mm 时,非球面 IOL 将会丧失对球差的矫正作用。第三,对比敏感度是一项反映视觉成像质量的主观评价指标,受多种因素的影响。除像差外,其它因素如年龄、瞳孔大小、视网膜神经节细胞的功能、患者的认知能力及配合程度等都会对对比敏感度的结果造成影响。

本研究将各种可能的影响因素尽量控制在最低。首先,本研究由同一医师完成所有手术,且均采用上方 11:00 位透明角膜切口,以减少切口对术后角膜像差的影响。以往的研究发现,小切口白内障超声乳化手术对角膜像差的影响较小。宫贤惠等^[22]报道采用上方 11:00 位透明角膜切口进行超声乳化手术,术前与术后 1,3mo 角膜前表面各高阶像差差异均无统计学意义。Guirao 等^[23]报道超声乳化手术鼻侧角膜切口可导致三叶草像差增加,而上方及颞侧角膜切口对术后高阶像差无明显影响。此外,本研究中所有患者均植入相同的 IOL,从而避免了 IOL 材料及设计的不同可能对结果造成的影响。AcrySof IQ 非球面 IOL 为蓝光滤过型 IOL,以往的研究表明其可降低假晶状体眼暗光下的对比敏感度^[24]。然而,在本研究中,其对术后对比敏感度的影响存在于所有患者中,因此我们认为,非球面 IOL 的材料对本研究结果无明显影响。

本研究未测量亮光及暗光下的瞳孔直径,且未观察自然瞳孔状态下的高阶像差,这是本研究的不足之处。此外,本研究的样本量较小,这可能是本研究未能包含更大角膜球差患者的原因。研究证实,球差的增加可降低人眼的视觉质量,但需达到一定的阈值^[19]。因此,未来应将角膜球差大于 0.4 μm 甚至更大角膜球差的患者纳入研究,从而为非球面 IOL 的选择提供更多的临床依据。

综上所述,本研究发现不同角膜球差患者植入相同非球面 IOL 后的视力及对比敏感度相似,白内障术后全眼球差的少量差异对视觉质量无明显影响。年龄相关性白内障是白内障手术的主要人群,而老年患者瞳孔直径偏小,对手术的期望不尽相同。因此,在非球面 IOL 的个性化选择中,术后球差的大小不应是唯一考虑的因素,还应充分考虑患者的需求、瞳孔的大小及不同非球面 IOL 的特性。将非球面 IOL 植入那些可以真正从中获益的患者,才能充分发挥非球面 IOL 的优势。

参考文献

- 1 Smolek MK, Klyce SD. Goodness of prediction of Zernike polynomial fitting to corneal surfaces. *J Cataract Refract Surg* 2005;31(12):2350-2355
- 2 Wang L, Santaella RM, Booth H, et al. Higher-order aberrations from the internal optics of the eye. *J Cataract Refract Surg* 2005;31(8):1512-1519
- 3 Piers PA, Manzanera S, Prieto PM, et al. Use of adaptive optics to determine the optimal ocular spherical aberration. *J Cataract Refract Surg* 2007;33(10):1721-1726
- 4 Wang L, Dai E, Koch DD, et al. Optical aberrations of the human anterior cornea. *J Cataract Refract Surg* 2003;29(8):1514-1521
- 5 Dick HB. Recent developments in aspheric intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol* 2009;20(1):25-32
- 6 Levy Y, Segal O, Avni I, et al. Ocular high-order aberrations in eyes with supernormal vision. *Am J Ophthalmol* 2005;139(2):225-228
- 7 Wang L, Koch DD. Custom optimization of intraocular lens asphericity. *J Cataract Refract Surg* 2007;33(10):1713-1720
- 8 Mester U, Dillinger P, Anterist N. Impact of a modified optic design on visual function clinical comparative study. *J Cataract Refract Surg* 2003;29(4):652-660
- 9 Bellucci R, Scialdone A, Buratto L, et al. Visual acuity and contrast sensitivity comparison between Tecnis and AcrySof SA60AT intraocular lenses: a multicenter randomized study. *J Cataract Refract Surg* 2005;31(4):712-717
- 10 Cuthbertson FM, Dhingra S, Benjamin L. Objective and subjective outcomes in comparing three different aspheric intraocular lens implants with their spherical counterparts. *Eye* 2009;23(4):877-883
- 11 Gong XH, Zheng QX, Wang N, et al. Visual and optical performance of eyes with different corneal spherical aberration implanted with aspheric intraocular lens. *Int J Ophthalmol* 2012;5(3):323-328
- 12 Schuster AK, Tesarz J, Vossmerbaeumer U. The impact on vision of aspheric to spherical monofocal intraocular lenses in cataract surgery: a systematic review with meta-analysis. *Ophthalmology* 2013;120(11):2166-2175
- 13 Santhiago MR, Netto MV, Barreto J Jr, et al. Wavefront analysis, contrast sensitivity, and depth of focus after cataract surgery with aspherical intraocular lens implantation. *Am J Ophthalmol* 2010;149(3):383-389
- 14 Morales EL, Rocha KM, Chalita MR, et al. Comparison of optical aberrations and contrast sensitivity between aspheric and spherical intraocular lenses. *J Refract Surg* 2011;27(10):723-728
- 15 Assaf A, Kotb A. Ocular aberrations and visual performance with an aspheric single-piece intraocular lens; contralateral comparative study. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(9):1536-1542
- 16 Johansson B, Sundelin S, Wikberg-Matsson A, et al. Visual and optical performance of the Akreos Adapt Advanced Optics and Tecnis Z9000 intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2007;33(9):1565-1572
- 17 Nabh R, Ram J, Pandav SS, et al. Visual performance and contrast sensitivity after phacoemulsification with implantation of aspheric foldable intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(2):347-353
- 18 Kasper T, Bühren J, Kohnen T. Visual performance of aspherical and spherical intraocular lenses: Intraindividual comparison of visual acuity, contrast sensitivity, and higher-order aberrations. *J Cataract Refract Surg* 2006;32(12):2022-2029
- 19 Applegate RA, Marsack JD, Ramos R, et al. Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. *J Cataract Refract Surg* 2003;29(8):1487-1495
- 20 Yamaguchi T, Dogru M, Yamaguchi K, et al. Effect of spherical aberration on visual function under photopic and mesopic conditions after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(1):57-63
- 21 Einighammer J, Oltrup T, Feudner E, et al. Customized aspheric intraocular lenses calculated with real ray tracing. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(11):1984-1994
- 22 宫贤惠, 赵云娥, 郑景伟. 透明角膜切口白内障超声乳化术后角膜前表面波前像差的改变. *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2011;13(1):55-59
- 23 Guirao A, Tejedor J, Artal P. Corneal aberrations before and after small-incision cataract surgery. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45(12):4312-4319
- 24 Schwiegerling J. Blue-light-absorbing lenses and their effect on scotopic vision. *J Cataract Refract Surg* 2006;32(1):141-144