

双通道技术评价两种衍射型多焦点人工晶状体视网膜成像质量

王文惠¹, 巫雷¹, 冯一帆²

引用:王文惠,巫雷,冯一帆. 双通道技术评价两种衍射型多焦点人工晶状体视网膜成像质量. 国际眼科杂志 2021; 21(3): 493-496

基金项目:国家自然科学基金面上项目(No.81970817)
作者单位:¹(610041)中国四川省成都市,成都爱尔眼科医院;
²(200032)中国上海市,复旦大学附属中山医院眼科
作者简介:王文惠,毕业于温州医科大学,硕士,副主任医师,研究方向:白内障、眼视光。
通讯作者:巫雷,主任医师,白内障科主任,研究方向:屈光白内障及疑难白内障. 1072627187@qq.com
收稿日期:2020-07-17 修回日期:2021-02-01

摘要

目的:研究两种非球面衍射型多焦点人工晶状体(IOL)视网膜成像质量。

方法:回顾性队列研究。选取2017-10/2019-10诊断为单纯性白内障,行超声乳化吸除联合IOL植入155例155眼为研究对象,植入非球面衍射双焦点IOL 54例54眼、非球面衍射三焦点IOL 54例54眼、单焦点IOL 47例47眼做对照组。随访术后6mo,双通道视觉质量分析系统测量散射指数(OSI)、调制传递函数截止频率(MTF cut off)、斯特列尔比值(SR)、100%、20%、9%模拟对比度视力(OV);记录术后裸眼远视力(5m)、中距离(80cm)、近距离(40cm)视力及矫正远视力、矫正远视力基础上的中距离视力和近距离视力;利用VF-14量表进行评分。

结果:双焦组和三焦组MTF cut off均低于单焦组($P=0.007, 0.043$),双焦和三焦组无差异($P=0.445$)。三组OSI值无差异($F=1.143, P=0.322$),三组SR值无差异($F=3.045, P=0.051$)。双焦组和三焦组模拟对比度视力无差异(OV 100%: $P=0.974$; OV 20%: $P=0.713$; OV 9%: $P=0.947$),而双焦和三焦组均低于单焦点组(OV 100%:双焦 vs 单焦 $P=0.001$; 三焦 vs 单焦 $P=0.012$; OV 20%:双焦 vs 单焦 $P=0.002$; 三焦 vs 单焦 $P=0.043$; OV 9%:双焦 vs 单焦 $P=0.011$; 三焦 vs 单焦 $P=0.029$)。三组术后裸眼远视力及矫正远视力均无差异($P=0.054, 0.180$)。双焦组与单焦组裸眼中视力有差异($P=0.010$),三焦组与单焦组、双焦组均有差异($P<0.01$)。双焦组和三焦组裸眼近视力无差异($P=0.428$),双焦组和三焦组与单焦组均有差异($P<0.01$)。三组患者远视力矫正基础上中视力有差异($H=67.176, P<0.01$),双焦组与单焦组有差异($P<0.01$),三焦组与单焦组和双焦组均有差异($P<0.01$)。三组远视力矫正基础上近视力均有差异($H=91.292, P<0.01$),双焦组和三焦组无差异($P=0.519$),双焦组和三焦组与单焦组均有差异($P<0.01$)。三组VF-14表评分有差异($H=71.342, P<0.01$),双焦组和三焦组评

分无差异($P=0.055$),双焦组和三焦组与单焦组均有差异($P<0.01$)。

结论:双通道视觉系统评估三焦点、双焦点衍射型人工晶状体视网膜成像质量无差别;三焦点较双焦点人工晶状体,可提供更佳的中距离视力。

关键词:多焦点;人工晶状体;衍射;双通道
DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2021.3.23

Evaluation of the retinal imaging quality of two kinds of diffractive multifocal intraocular lens by using two - channel technique

Wen-Hui Wang¹, Lei Wu¹, Yi-Fan Feng²

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No.81970817)

¹Chengdu Aier Eye Hospital, Chengdu 610041, Sichuan Province, China; ²Department of Ophthalmology, Zhongshan Hospital of Fudan University, Shanghai 200032, China

Correspondence to:Lei Wu. Chengdu Aier Eye Hospital, Chengdu 610041, Sichuan Province, China. 1072627187@qq.com

Received:2020-07-17 Accepted:2021-02-01

Abstract

• AIM: To evaluate the retinal image of two types of aspheric diffractive multifocal intraocular lens(IOL).

• METHODS: Retrospective cohort study. Totally 155 cases of simple cataract who received phacoemulsification combined with IOLs implantation from October 2017 to October 2019. They were divided into three groups according to the types of IOL: Aspheric Bifocal Diffractive Group: 54 patients (54 eyes); Aspheric Trifocal Diffractive Group: 54 patients (54 eyes); Aspheric Monofocal Group: 47 patients (47 eyes). All patients were evaluated postoperatively at 6mo. Double - pass visual quality analysis system was used to evaluate OSI, MTF cutoff, Strehl Ratio, OV 100%, OV 20% and OV 9% respectively. Uncorrected distance visual acuity (5m), uncorrected intermediate visual acuity (80cm), uncorrected near visual acuity (40cm), corrected distance visual acuity, distance-corrected intermediate visual acuity, distance-corrected near visual acuity were measured and compared among three groups. Visual function - 14 was also assessed.

• RESULTS: Both of bifocal and trifocal groups had similar MTF cutoff ($P=0.445$), OV 100%, OV 20% and OV 9% (OV

100%: $P=0.974$; OV20%: $P=0.713$; OV 9%: $P=0.947$). Monofocal group had better MTF cutoff ($P=0.007$), OV 100% ($P=0.001$), OV 20% ($P=0.002$) and OV 9% ($P=0.011$) than bifocal. Besides, monofocal group had better MTF cutoff ($P=0.043$), OV 100% ($P=0.012$), OV 20% ($P=0.043$) and OV 9% ($P=0.029$) than trifocal group. There was no difference among all groups in uncorrected distance visual acuity and corrected distance visual acuity ($P=0.054, 0.180$). There was difference in distance-corrected intermediate ($H=91.292, P<0.01$) and distance-corrected near visual acuity ($H=91.292, P<0.01$). Uncorrected intermediate visual acuity was better in trifocal group than bifocal ($P<0.01$) and monofocal group ($P<0.01$). Distance-corrected intermediate visual acuity was better in trifocal group than bifocal ($P<0.01$) and monofocal group ($P<0.01$). Both of bifocal and trifocal groups have similar uncorrected near visual acuity ($P=0.428$) and distance-corrected near visual acuity ($P=0.519$), which was better than monofocal group ($P<0.01$). In terms of VF-14, score in bifocal and trifocal groups are significantly higher than the monofocal group ($P<0.01$). There was no difference in bifocal and trifocal groups ($P=0.055$).

• CONCLUSION: Bifocal and trifocal diffractive IOL can provide similar retinal image. Trifocal IOL can provide better intermediate visual acuity.

• KEYWORDS: multi-focal; intraocular lens; diffractive; double-Pass

Citation: Wang WH, Wu L, Feng YF. Evaluation of the retinal imaging quality of two kinds of diffractive multifocal intraocular lens by using two-channel technique. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2021;21(3):493-496

0 引言

自1967年Kelman^[1]首次进行超声乳化白内障手术以来,实施白内障的手术设备、生物测量设备、手术器械以及人工晶状体(IOL)设计均得到迅速的发展。人工晶状体依据其功能分为单焦点和多焦点两类,人工晶状体已进入百花争鸣的时代。植入单焦点IOL后,绝大多数患者调节功能丧失,代之以伪调节力,现多焦点IOL临床应用越来越多^[2]。多焦点IOL大多是利用光的衍射和折射设计,通过同时注视原理设计而成。近几年,衍射设计的三焦点IOL应用于临床。相较于衍射设计的双焦点IOL,二者视觉质量有何差异,临床报道较少。因此,本研究以单焦点IOL为对照组,通过双通道视觉系统评价非球面衍射双焦点和三焦点IOL视网膜成像质量。现将我院的回顾性临床研究报道如下。

1 对象和方法

1.1 对象 回顾性队列研究。收集2017-10/2019-10行超声乳化吸除联合IOL植入术的白内障患者155例155眼病例资料,平均年龄 67.0 ± 9.8 岁。本研究符合《赫尔辛基宣言》,且得到医院伦理委员会许可,入选患者及家属均知情同意。纳入标准:(1)22mm<眼轴<26mm;(2)角膜散光<1.0D;(3)瞳孔直径:4.0mm≤暗瞳孔<6.0mm;(4) κ 角<0.3mm,α角<0.3mm,4mm角膜高阶像差<0.3μm,6mm角膜球差>0.2μm;(5)术眼瞳孔能充分散

大,据白内障混浊分类系统(lens opacities classification system, LOCS)Ⅲ晶状体混浊程度分级,核Ⅱ~Ⅳ级;(6)撕囊规范,手术顺利,前囊膜边缘360度覆盖IOL边缘,术中未发生角膜后弹力层脱离、后囊膜破裂、玻璃体脱出、眼内组织损伤并发症;(7)术后随访未发生眼前节毒性反应综合征、感染、高眼压、囊袋皱缩综合征、后发性白内障。排除标准:(1)性格偏执,期望值过高;(2)斜弱视;(3)眼球震颤;(4)重度干眼;(5)角膜屈光手术史、角膜瘢痕;(6)玻璃体视网膜病变及手术史;(7)术中术后出现并发症;(8)术后依从性差。双焦组(术中植入ALCON公司SN6AD1)54例54眼、三焦组(术中植入ZEISS公司ATLISA Tri 839MP)54例54眼、单焦组(术中植入ALCON公司SN60WF)47例47眼。术后随访6mo。

1.2 方法

1.2.1 术前准备 利用IOL Master 500行IOL度数测算;波前像差仪OPD-Scan III测量 κ 角、α角、4mm角膜高阶像差,6mm角膜球差。

1.2.2 手术过程 所有超声乳化白内障吸除联合IOL植入术,均由同一名经验丰富的医师完成。复方托吡卡胺液点术眼充分散瞳;结膜囊内聚维酮碘消毒^[3],并进行睑缘和眼周面部的皮肤消毒;贴一次性眼贴膜,开睑器充分暴露术眼。对角膜散光<0.50D做2.4mm 10:00位双平面角膜缘切口,0.50~1.00D做2.4mm陡峭子午线双平面角膜缘切口(术毕3.0mm刀扩切口后水密切口);前房内注入黏弹剂置换前房水;距主切口顺时针4个钟点位方向做1mm侧切口;中央起瓣,以虹膜作为参照,连续环形撕囊,直径大小5.0~5.5mm;水分离;超声乳化吸除混浊的晶状体核;灌注抽吸晶状体皮质;前后囊膜抛光;囊袋内注黏弹剂;植入IOL于囊袋内,调位使得IOL位正;灌注抽吸晶状体后方和前方黏弹剂彻底;前房形成好,水密角膜切口。

1.2.3 IOL介绍及度数选择 IOL特点:SN6AD1:具两个焦点,疏水性丙烯酸酯,前表面是9个阶梯渐进衍射环,一片式双凸非球面,球差-0.1μm,光学区直径6.0mm,中央衍射区3.6mm,外部折射区2.4mm,非瞳孔依赖性,总直径为13.0mm,屈光度数+6.0~+30.0D,襻与光学面夹角为0度,襻的类型是改良L型。ATLISA tri 839MP:具三个焦点,表面疏水性处理的亲水性丙烯酸酯材质,前表面是全光学面衍射环,中心0~4.34mm是三焦区,周边4.34~6mm是双焦区,一片式等凸双非球面,-0.18μm球差,光学区直径6mm,总直径11.0mm,屈光度数0~32.0D,襻与光学面夹角为0度,襻的类型是四襻。SN60WF:疏水性丙烯酸酯材质,一片式前部不对称双凸非球面,-0.2μm球差,光学区直径6.0mm,总直径为13.0mm,屈光度数在+6.0~+30.0D,襻与光学面夹角为0度,襻的类型是改良L型。IOL度数选择:参考Hagis公式。

1.2.4 术后评估 视网膜成像质量评估:若术后散光≥0.75D,放置相应的柱镜片行矫正,选择“astigmatism”模式,暗适应5min,调整头位眼位,使瞳孔聚焦于屏幕上,嘱患者自然眨眼,分别采集测量客观散射指数(objective scatter index, OSI)、调制传递函数截止频率(modulation transfer function cut off, MTF cut off)、斯特列尔比值(Strehl ratio, SR)、三种对比度下(100%、20%、9%)的模拟对比

表 1 三组年龄相关性白内障患者术前基本资料

组别	眼数	性别(例)		年龄 ($\bar{x}\pm s$,岁)	眼轴 ($\bar{x}\pm s$,mm)	角膜散光 ($\bar{x}\pm s$,D)	植入 IOL 度数 ($\bar{x}\pm s$,D)	远视力 [$M(P_{25},P_{75}),\text{LogMAR}$]	矫正远视力 [$M(P_{25},P_{75}),\text{LogMAR}$]
		男	女						
双焦组	54	26	28	62.1±9.1	23.70±0.93	0.53±0.17	20.39±2.97	0.60(0.52,0.96)	0.52(0.30,0.65)
三焦组	54	29	25	61.9±7.5	23.78±0.79	0.51±0.20	19.62±2.17	0.60(0.52,1.00)	0.52(0.35,0.70)
单焦组	47	22	25	65.4±8.7	23.38±1.04	0.61±0.12	20.28±3.21	0.60(0.40,0.82)	0.40(0.30,0.56)
$F/H\lambda^2$		0.555		2.742	1.119	2.034	0.682	4.575	5.425
P		0.758		0.068	0.332	0.138	0.508	0.102	0.066

度视力(OQAS values,OV)。所有指标均测量3次,每次测量中间休息10min,取重复性最好的一次。所有检查均由同一名已经熟练操作该机器2a的医师完成。测量三组术眼远、中、近裸眼视力,以及矫正远视力,远视力矫正后中、近视力。问卷调查:VF-14量表^[4-5]分为“没有困难”“轻度困难”“中度困难”“严重困难”“完全无法完成”5个选项,分别计4~0,平均值乘以25得到总分。

统计学分析:采用SPSS19.0统计学软件处理分析数据。对三组术后计量资料分别行Kolmogorov-Smirnov正态性检验,符合正态性分布,以 $\bar{x}\pm s$ 表达,三组间比较行单因素方差分析;不符合正态分布的,以 $M(P_{25},P_{75})$ 形式表示,三组间比较行Kruskal-Wallis H 检验,组间存差异者,两两比较行Nemenyi检验。计数资料以率的形式表示,组间比较行卡方检验。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 患者基本情况 术前三组患者的男女比例、年龄、眼轴、角膜散光、植入IOL度数、远视力、矫正远视力比较,差异均无统计学意义($P>0.05$,表1)。

2.2 双通道技术视网膜成像质量评价

2.2.1 MTF cut off 值 双焦组、三焦组、单焦组 MTF cut off 分别是26.034±6.590、26.934±5.860、29.367±5.328c/d,差异有统计学意义($F=4.036,P=0.020$)。双焦组和三焦组 MTF cut off 均低于单焦点组($P=0.007,0.043$),双焦组和三焦组差异无统计学意义($P=0.445$)。

2.2.2 OSI 值 双焦组、三焦组、单焦组 OSI 值分别是1.9±0.6、1.8±0.8、1.7±0.9,差异无统计学意义($F=1.143,P=0.322$)。

2.2.3 SR 值 双焦组、三焦组、单焦组 SR 值分别是0.149±0.069、0.181±0.091、0.150±0.056,差异无统计学意义($F=3.045,P=0.051$)。

2.2.4 模拟对比度视力 三组术后模拟对比度视力差异均有统计学意义($P<0.01$,表2)。双焦组和三焦组模拟对比度视力差异均无统计学意义($P>0.05$),而双焦组和三焦组均低于单焦组($P<0.05$),见表2。

2.3 主观检查

2.3.1 术后视力的比较 三组裸眼远视力及矫正远视力差异均无统计学意义($P>0.05$)。三组裸眼中视力差异有统计学意义($P<0.01$),双焦组显著优于单焦点组($P=0.010$),三焦点组优于单焦点组和双焦点组(均 $P<0.01$)。三组患者裸眼近视力差异具有统计学意义($P<0.01$),双焦组和三焦组差异无统计学意义($P=0.428$),双焦组和三焦组均显著优于单焦组($P<0.01$)。三组患者远视力矫正基础上中视力比较差异具有统计学意义($P<0.01$),双焦组显著优于单焦组($P<0.01$),三焦组显著优

表 2 三组 IOL 植入术后双通道技术视觉质量比较 $\bar{x}\pm s$

组别	眼数	OV 100%	OV 20%	OV 9%
双焦组	54	0.86±0.22	0.54±0.21	0.33±0.15
三焦组	54	0.89±0.32	0.59±0.25	0.34±0.14
单焦组	47	1.08±0.36	0.73±0.31	0.44±0.24
F		8.111	7.016	6.139
P		<0.01	0.001	0.003
$P_{1,2}$		0.974	0.713	0.947
$P_{1,3}$		0.001	0.002	0.011
$P_{2,3}$		0.012	0.043	0.029

注: $P_{1,2}$:双焦组与三焦组比较; $P_{1,3}$:双焦组与单焦组比较; $P_{2,3}$:三焦组与单焦组比较。

表 3 各组超声乳化白内障吸除联合 IOL 植入术后裸眼视力 [$M(P_{25},P_{75}),\text{LogMAR}$]

组别	眼数	裸眼远视力	裸眼中视力	裸眼近视力
双焦组	54	0.10(0.00,0.10)	0.30(0.20,0.30)	0.25(0.20,0.30)
三焦组	54	0.00(0.00,0.10)	0.15(0.10,0.20)	0.20(0.10,0.30)
单焦组	47	0.10(0.00,0.22)	0.30(0.30,0.40)	0.60(0.40,0.70)
H		5.845	48.777	88.119
P		0.054	<0.01	<0.01
$P_{1,2}$		-	<0.01	0.428
$P_{1,3}$		-	0.010	<0.01
$P_{2,3}$		-	<0.01	<0.01

注: $P_{1,2}$:双焦组与三焦组比较; $P_{1,3}$:双焦组与单焦组比较; $P_{2,3}$:三焦组与单焦组比较;-:未进行。

表 4 各组超声乳化白内障吸除联合 IOL 植入术后矫正视力 [$M(P_{25},P_{75}),\text{LogMAR}$]

组别	眼数	矫正远视力	远矫正中视力	远矫正近视力
双焦组	54	0.00(0.00,0.10)	0.25(0.20,0.30)	0.20(0.20,0.30)
三焦组	54	0.00(0.00,0.05)	0.10(0.00,0.20)	0.20(0.10,0.30)
单焦组	47	0.00(0.00,0.10)	0.30(0.30,0.40)	0.60(0.49,0.70)
H		3.429	67.176	91.292
P		0.180	<0.01	<0.01
$P_{1,2}$		-	<0.01	0.519
$P_{1,3}$		-	<0.01	<0.01
$P_{2,3}$		-	<0.01	<0.01

注: $P_{1,2}$:双焦组与三焦组比较; $P_{1,3}$:双焦组与单焦组比较; $P_{2,3}$:三焦组与单焦组比较;-:未进行。

于单焦组和双焦组(均 $P<0.01$)。三组远视力矫正基础上近视力比较差异具有统计学意义($P<0.01$),双焦组和三焦组差异无统计学意义($P=0.519$),双焦组和三焦组均显著优于单焦组($P<0.01$),见表3、4。

2.3.2 VF-14 表评分 双焦组、三焦组、单焦组 VF-14 分

值分别是 95.83 (95.83, 100.00), 100.00 (95.98, 100.00), 79.55 (70.00, 87.50)分, 三组评分差异具有统计学意义 ($H=71.342, P<0.01$), 双焦组和三焦组评分差异无统计学意义 ($P=0.055$), 双焦组和三焦组评分均高于单焦组 ($P<0.01$)。

3 讨论

超声乳化白内障吸除联合后房型人工晶状体植入术是目前治疗白内障最常用术式^[6]。多焦点 IOL 利用“同时注视”原理, 利用大脑的神经适应机制成像。基于光学衍射原理设计的多焦点 IOL, 目前有两个焦点和三个焦点设计。人类视觉的形成是视觉生理系统和心理物理系统相互作用的过程^[7]。由于单纯像差的测量忽略了散射对人眼的影响往往高估人眼视觉质量^[8], 双通道技术可综合反映人眼视网膜成像质量, 本研究旨在利用该项技术, 以单焦点 IOL 做对照, 客观评价双焦点和三焦点视网膜成像质量。

MTF cut off、OSI、SR 常常被用来评价光学系统成像质量^[9]。双通道视觉质量分析系统对于白内障术后 IOL 眼的测量重复性好^[10], 可得到以上光学参数。不同年龄、不同瞳孔直径人眼的 MTF 并不相同^[11-12], 该技术内置人工瞳孔直径 4mm, 入选患者在暗环境下瞳孔均大于 4mm, 因此数据可靠。MTF cut off 代表了视网膜上的图像为原图像 1% 时对比度时对应的空间频率, 越大代表人眼分辨率越高^[13]。双焦点和三焦点组无差异, 两组均低于单焦组。近有研究表明 SN6AD1 和 SN60WF 植入后 MTF cut off 值比较, 发现后者更高, 本研究与其结果一致^[14]。多个焦点设计 IOL 较单个焦点 MTF cut off 值的差异, 可能与多焦点 IOL 其在人眼不同焦点形成导致光能量分布不同有关。三组患者基本达到该年龄段正常人眼的 MTF cut off 值^[9], 可能与多焦点改进的设计工艺有关 (SN6AD1 渐进式阶梯衍射设计; AT LISA tri839MP 的平滑微相位技术)。

OSI 指的是光线通过不均匀介质传播方向向各个方向改变的现象, 可反映屈光介质混浊程度, 可能与材质为疏水性材质有关。尽管三焦点为疏水表层的亲水性材质, 本研究并未发现三组 OSI 有差别。也有报道报道亲水性材质可能更有利于晶状体上皮细胞的增生、移行及房水蛋白的黏附^[15]。因此, 本研究并未发现两种不同材质的 IOL 散射指数有差别。SR 比值越高, 可以反映像差越低。本研究未发现三组 SR 值有差别, 推测可能与三组 IOL 均为非球面设计, 少量的负球差, 故全眼像差三组差别不大有关联。

本研究发现, 双焦组裸眼中视力优于单焦组, 而三焦组优于单焦组和双焦组, 与既往研究所得一致^[16]。分析两组中视力差异原因是多焦点 IOL 通过衍射设计使光线聚集具有两个或三个焦点所致。而三焦点 IOL 中焦点的衍射 1 阶是 1.66D, 2 阶是 3.33D, 中焦点的衍射 2 阶落在看近的衍射 1 阶上, 从而提高了光能的利用率, 多了一个中焦点的设计使中距离视力更好。双焦组和三焦组裸眼近视力无差异。单焦组 83.0% 需依赖老视眼镜, 远高于多

焦组, 这与 IOL 的设计有关。视近时, 植入双焦点 IOL 的大脑会自动抑制远焦点所成的模糊像; 植入三焦点 IOL 抑制远焦点和中焦点所成的模糊像。视觉系统重新标定所经历的模糊, 把最少模糊的视为“清晰”^[17]。光晕主要来源于近焦点和/或中焦点对远焦点的干扰作用, 双焦和三焦衍射设计的 IOL 由于工艺的改进和人眼的适应性, 光晕绝大多数患者能接受。

综上所述, 本研究发现衍射设计的双焦点和三焦点具有相当的视网膜成像质量, 三焦点较双焦点具有更佳的中距离视力。

参考文献

- 1 Kelman CD. Phaco-emulsification and aspiration: a new technique of cataract removal. A preliminary report. *Am J Ophthalmol* 1967;64:23-35
- 2 Robert A, Gladness M, Emerson C, et al. Prospective evaluation of visual outcomes with three presbyopia - correcting intraocular lenses following cataract surgery. *Clin Ophthalmol* 2013;7:1811-1823
- 3 中华医学会眼科学分会白内障和人工晶状体学组. 关于白内障围手术期预防感染措施规范化的专家建议 (2013 年). *中华眼科杂志* 2013;49(1):76-78
- 4 彭程, 赵江月, 马立威, 等. 不同形态年龄相关性白内障视觉质量的临床评价. *中华眼科杂志* 2011;47(11):1001-1006
- 5 Steinberg EP, Tielsch JM, Schein OD, et al. The VF-14. An index of functional impairment in patients with cataract. *Arch Ophthalmol* 1994;112(5):630-638
- 6 刘奕志. 人工晶状体多焦点与单焦点优劣之争. *中华眼科杂志* 2013;49(5):389-391
- 7 Wandell BA. *Foundations of vision*. Britain: Sinauer Associates Inc 1995: 15
- 8 Díaz-Doutón F, Benito A, Pujol J, et al. Comparison of the retinal image quality with a Hartmann-Shack wavefront sensor and a double-pass instrument. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:1710-1716
- 9 俞阿勇, 施恩, 王勤美, 等. 不同年龄段成年人眼的综合光学质量客观评估. *中华眼科杂志* 2016;52(1):47-50
- 10 邢晓杰, 宋慧, 汤欣. 应用 OQAS 双通道系统对人工晶状体眼视觉质量评估可重复性研究. *中国实用眼科杂志* 2014;32(10):1163-1168
- 11 连慧芳, 汤欣, 王娟. 年龄及瞳孔直径对成人正视眼调制传递函数的影响. *中华眼科杂志* 2010;46(3):227-232
- 12 Saad A, Saab M. Repeatability of measurements with a double-pass system. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:28-33
- 13 Alió JL, Pinero DP, Ortiz D, et al. Clinical outcomes and postoperative intraocular optical quality with a microincision aberration-free aspheric intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(9):1548-1554
- 14 Liao X, Lin J, Tian J, et al. Evaluation of Optical Quality: Ocular Scattering and Aberrations in Eyes Implanted with Diffractive Multifocal or Monofocal Intraocular Lenses. *Curr Eye Res* 2018;43(6):696-701
- 15 Tognetto D, Toto L, Sanguinetti G, et al. Glistenings in foldable intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2002;28(7):1211-1216
- 16 Kaymak H, Breyer D, Alió JL. Visual Performance With Bifocal and Trifocal Diffractive Intraocular Lenses: A Prospective Three - Armed Randomized Multicenter Clinical Trial. *J Refract Surg* 2017;33(10):655-662
- 17 Watt RJ. An outline of the primal sketch in human vision. *Pattern Recognit Lett* 1987;5(2):139-150