

白内障患者功能性视力的研究现状

彭程, 赵江月, 马立威, 曲勃, 张劲松

基金项目: 中国辽宁省教育厅高等学校优秀人才支持计划项目 (No. 2009R53)

作者单位: (110005) 中国辽宁省沈阳市, 中国医科大学附属第四医院眼科 中国医科大学眼科医院 辽宁省晶状体学重点实验室

作者简介: 彭程, 女, 硕士研究生, 研究方向: 白内障。

通讯作者: 张劲松, 男, 教授, 博士研究生导师, 研究方向: 白内障及眼内屈光手术. cmu4h-zjs@126.com

收稿日期: 2011-04-14 修回日期: 2011-07-07

Research status of functional vision in cataract patients

Cheng Peng, Jiang-Yue Zhao, Li-Wei Ma, Bo Qu, Jin-Song Zhang

Foundation item: Talents Support Programs of University of Education Department of Liaoning Province China (No. 2009R53)

Department of Ophthalmology, the Fourth Affiliated Hospital of China Medical University; the Eye Hospital of China Medical University; the Key Laboratory of Lens Research of Liaoning Province, Shenyang 110005, Liaoning Province, China

Correspondence to: Jin-Song Zhang. Department of Ophthalmology, the Fourth Affiliated Hospital of China Medical University; the Eye Hospital of China Medical University; the Key Laboratory of Lens Research of Liaoning Province, Shenyang 110005, Liaoning Province, China. cmu4h-zjs@126.com

Received: 2011-04-14 Accepted: 2011-07-07

Abstract

• Functional vision examination comprises of continuous functional visual acuity, intraocular straylight, wavefront aberration, point spread function, modulation transfer function, contrast sensitivity, glare sensitivity, binocular visual function, etc. Functional vision examination is a comprehensive and useful tool, which is widely used in evaluating cataract patients whose visual acuity is good at early stage but objective quality of vision is bad, also in evaluating whether the patients could not only see but also see clearly and comfortably after refractive and presbyopia-correcting cataract surgery.

• KEYWORD: cataract; visual quality; functional vision; intraocular straylight

Peng C, Zhao JY, Ma LW, et al. Research status of functional vision in cataract patients. *Guoji Yanke Zazhi (Int J Ophthalmol)* 2011;11(8):1385-1388

摘要

功能性视力检查包括连续性功能视力、眼内散射光、波前

像差、点扩散函数、调制传递函数、对比敏感度、眩光敏感度、双眼视觉功能等,作为一种全面评估视觉质量的方法,广泛应用于早期视力尚未受损但有主观视觉损害的白内障患者,也可用于客观评价屈光性、老视矫正性白内障手术后患者是否能看得见,看得清晰,看得舒服。

关键词: 白内障; 视觉质量; 功能性视力; 眼内散射光

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5123.2011.08.023

彭程, 赵江月, 马立威, 等. 白内障患者功能性视力的研究现状. 国际眼科杂志 2011;11(8):1385-1388

0 引言

功能性视力 (functional vision) 是指人日常生活中与视力有关的活动情况或功能 (如阅读、移动、定向及功能、自助工作等)^[1], 是从人使用视力能力的水平描述与视功能相关的生活质量。其与视功能的区别在于: 视功能从器官水平上描述眼及视觉系统的功能情况, 是外界物体通过视觉器官反映到大脑皮质视中枢后的综合感觉, 即光刺激—感觉—知觉。日常生活环境中的光照强度、明暗对比度、色彩及空间频率总是千变万化, 目前裸眼、矫正远、中、近视力及屈光度数已无法全面评估屈光性及老视矫正性白内障术后的视觉舒适度, 只有综合评估不同环境下日常活动中的视觉质量 (quality vision, QV) 才具有实际的临床意义, 功能性视力检查填补了这一空缺, 正受到广泛的关注。

1 连续性功能性视力

连续性功能性视力 (functional visual acuity, FVA) 是指保持睁眼 10s 时连续测定的视力, 代表凝视状态下的视功能, 用来模拟与日常生活状态相关的动态视力变化过程, 在日常生活中有重要意义, 最先应用于干眼症的研究领域^[2]。近来, FVA 也被认为是精细的视功能检查的重要方面。有研究表明, FVA 测定可以提示阅读、驾驶及终端工作下的视功能, 评价潜在的视功能损害。干眼症患者尽管常规视力检查正常, 但 FVA 已明显受损^[2-4]。现已有用 FVA 评估 LASIK 术后泪膜稳定性改变引起的视觉质量下降的报道^[5, 6]。有研究显示白内障术后 0.5a 干眼症的发病率是 20% ~ 30%^[7], 由于白内障术后角膜知觉减退、泪膜稳定性下降及术中使用的麻醉剂等, 患者术后常伴有干眼症状, 出现精细视力不良及视力波动, 因此白内障术后 FVA 的检测有着重要临床意义。

2 散射光

2.1 概念 由于人眼的光学系统缺陷, 光线通过透明晶状体时, 将造成 40% 的眼内散射, 而强烈的光线在通过混浊的晶状体时, 会产生更大散射。散射光 (straylight) 分为朝向视网膜方向的前散射 (forward scatter) 即眼内散射光 (intraocular straylight), 及朝向角膜方向的后散射 (back scatter)。眼内散射光随着患者年龄的增长而增大^[8, 9], Rozema 等^[10]对 2422 名欧洲司机的人群研究显示年轻

健康眼 C-Quant 测得的散射光量为 0.87, 40~70 岁增加至 1.2, 80 岁以上至 1.4。同时眼内散射光也与轴长相关。正常人眼的散射光与瞳孔大小无关^[11], 而人工晶状体 (intraocular lens, IOL) 眼的散射光受到撕囊直径的影响^[12, 13]。

2.2 散射光与失能眩光的关系 前散射在眼内形成光幕性视网膜照明 (veiling illuminance), 其叠加于视网膜的物像上, 使视网膜对比敏感度下降, 继而引起视觉质量的急剧下降, 这种现象称为失能眩光 (disability glare)^[14], 因此, 前散射是形成失能眩光的直接原因^[15]。后散射可用来测定晶状体密度及获得眼前节图像。白内障患者的眩光、光晕、夜间视力及驾驶能力差等视觉损害都是前散射增大的直接表现, 而非后散射所致。临床上白内障患者的评估通常以裂隙灯检查及视力为主要指标, 而裂隙灯图像取决于后散射^[16], 早期白内障患者当晶状体混浊未达视轴时, 可能出现主观视觉障碍与视力表视力不一致的现象^[8], 仅凭视力检查可能低估了功能性的视觉受损。

2.3 散射光的测量 C-Quant 散射光计量仪 (德国 Oculus Optikgeräte 公司) 是目前可重复性及有效性较好的散射光测量方法^[17, 18], 测试区由两个部分组成, 即中央测试区和边缘散射光源环, 边缘散射光源环闪烁时, 光线在晶状体和其他眼内介质发生散射。由于散射光的存在, 受试者会觉得中央测试区也在发生闪烁, 但事实上它是黑色的。C-Quant 用“补偿比较” (compensation comparison) 的方法把中央测试区分成左右两部分, 左右两个测试区随机接受补偿光, 补偿光的闪烁时相与边缘散射光源环的闪烁时相反, 有效性及可重复性较好^[17-19]。C-Quant 使用两种可供选择的被迫选择模式 (0 或 1), 受试者据左右两个测试区哪个区域闪烁的更强烈做出二进制的判断, 0 代表受试者选择了没有补偿光一侧的按键, 1 代表受试者选择了有补偿光一侧的按键。C-Quant 包含七种“补偿对比”模式, 对于每种补偿模式重复试验后受试者会给出介于 0~1 间的平均反应值, 平均反映值为 0.5 时, 中心测试区左右两侧闪烁强度相同, 补偿光的强度是眼内散射光强度的二倍时, 最终根据心理测量函数得出受试者的眼内散射光对数值 $\text{Log}[s]$ ^[20]。操作简单迅速, 能够精确客观的测定患者眼内散射光, 为功能性视力检查提供了新的平台。

2.4 散射光的临床应用价值 视网膜散射光可为早期白内障患者眩光、光晕、夜间视力差提供客观依据, 也可作为白内障术后视觉质量评价、后发性白内障早期发现及人工晶状体 (intraocular lens, IOL) 性能评估的定量指标。Michael 等^[21]用 C-Quant 测量了 2 422 名司机的眼内散射光, 建立 LOCS III 评分、对比敏感度、视网膜散射光的回归方程, 结果表明眼内散射光与 LOCS III 评分的相关性大于对比敏感度和视力, 因此眼内散射光是评价白内障患者晶状体混浊程度的有效附加指标。Van Den Berg^[8]对 2 422 名司机的横断面研究报道 IOL 植入术后眼内散射光低于白内障患者的眼内散射光, 因此主张将散射光作为白内障的手术指征之一。de Vries 等^[22]比较了 66 只 AcrySof ReSTOR SA60D3 IOL 及 40 只 AcrySof SA60AT IOL 植入术后 6mo 后的散射光, ReSTOR 组的散射光为 $1.20 \pm 0.16 \text{ log}[s]$, 单焦点晶状体组的散射光为 $1.10 \pm 0.19 \text{ log}[s]$, 矫正年龄影响后, 单焦点组比多焦点组散射光平均下降 $0.078 \text{ log}[s]$ ($P = 0.026$)。Hofmann 等^[23]比较了 40 只 AcrySof ReSTOR SA60D3 IOL 及 40 只 AcrySof SA60AT IOL

植入术后 18mo 后的 C-Quant 散射光, 结果与术后 6mo 时有所不同, 75% 的植入 ReSTOR SA60D3 IOL 和 80% 的植入 AcrySof SA60AT IOL 患者术后眼内散射光较术前降低, 但多焦点与单焦点 IOL 组间比较差异无统计学意义 ($P = 0.079$); 而问卷调查显示植入 ReSTOR SA60D3 IOL 组在所有的光条件下 (白天、暗光和夜晚) 抱怨评分均高于单焦点组 ($P < 0.001$)。de Vries 等^[24]对 68 只植入 +3D AcrySof ReSTOR SN6AD1 IOL 及 46 只植入 +4D AcrySof ReSTOR SN6AD3 IOL 术后 6mo 的散射光的研究结果为: +3D 组散射光为 $1.27 \pm 0.61 \text{ log}[s]$, +4D 组散射光为 $1.19 \pm 0.19 \text{ log}[s]$, 两组差异无统计学意义 ($P = 0.443$)。van Gaalen 等^[25]报道了 30 例双眼白内障患者一侧眼植入非球面 Tecnis ZA9003 IOL, 对侧眼植入球面 SensarAR40e IOL 的散射光, 认为 Tecnis ZA9003 IOL 与 SensarAR40e IOL 的散射光差异无统计学意义, 但患者术前与术后 IOL 眼的散射光差异有统计学意义。Hofmann 等^[23]研究了后囊膜下混浊 (posterior capsule opacification, PCO) 与眼内散射光和视力的相关性, 认为眼内散射光是评估 PCO 的有效指标, 与 PCO 严重性评分相关性好, 且年龄、IOL 材料、轴长、截囊直径均可影响散射光, 在 YAG 后囊截开术时应充分考虑以上因素。

3 波前像差

3.1 概念 对于人眼, 是以黄斑为中心, 以角膜前表面上瞳孔中心点的理想波前为参考波前, 用实际波前与参考波前的距离来描述波前像差 (wavefront aberration) 的大小。波前像差在白内障方面的应用价值包括解释早期白内障视觉质量下降的原因, 观察早期晶状体混浊变化及白内障早期诊断, 白内障术后定量分析患者的视觉质量, 为患者定制个体化的 IOL, 改良 IOL 的设计等。

3.2 波前像差与功能性视力的关系 二者关系表现为, 总体高阶像差与中、高频段的对比敏感度下降密切相关^[26]。皮质性白内障存在不对称的混浊导致彗差增加, 核性白内障存在中心对称性混浊导致球差增加, 两者都会导致四叶草差的增加^[27]。

3.3 波前像差理论在 IOL 方面的应用 为使人工晶状体更符合人眼的生理特点, 波前像差理论广泛地应用到非球面人工晶状体制作工艺中。最早应用于临床的 Tecnis Z9000 非球面型 IOL (球差为 $-0.27 \mu\text{m}$), 前表面经过改良、延长, 使其周边部的曲线变得平缓, 屈光率降低, 可提高暗视力和对比敏感度, 提供优良的视觉质量, 是波前像差技术与白内障手术相结合迈出的第一步。继 Tecnis 问世后 Alcon 公司研发了 AcrySof IQ (球差为 $-0.20 \mu\text{m}$) 非球面 IOL, Bausch&Lomb 公司研发了 SofPort AO, Akreos AO 及 Akreos MI60 非球面人工晶状体 (球差为 $0 \mu\text{m}$) 以及 Acri-smart36A (球差为 $-0.26 \mu\text{m}$)、Canon Staar KS 3Ai (球差为 $-0.18 \mu\text{m}$) 等非球面晶状体。依据角膜球差 $Z(4^\circ)$ 个体化的为白内障患者选择 IOL 是目前屈光性白内障的手术的重要部分^[28-30], 基于瞳孔直径大小的矫正球面像差的非球面 IOL 植入术可靠性也已得到证实^[31, 32]。连慧芳等^[33]对 46 例 57 眼年龄相关性白内障患者术前 1d 利用 iTrace 视觉功能分析仪测量 6.0mm 直径下角膜球差 ($Z4^\circ$), 目的使患者术后总球差接近于零, 术后 3mo 均获得满意的球差, 所有患者 6.0mm 瞳孔直径时的全眼球差为 $0.015 \pm 0.056 \mu\text{m}$; 所有患者术后全眼球差的预测值与实际值的差异无统计学意义; 裸眼视力、最佳矫正视力差异均无统计

学意义。不同 IOL 的材料、形状、边缘、调位孔设计及偏心等均对白内障患者术后波前像差产生影响^[34]。另外,人工晶状体的物理学特性也可能对像差有影响,但这还需要进一步的研究证实。

4 调制传递函数和点扩散函数

4.1 调制传递函数 调制传递函数(modulation transfer functions, MTF)描述的是不同频率物像对比度与光学系统成像质量的关系,评价当光线通过晶状体或光学系统时成像的对比度和锐度的损失,消除了低阶像差的影响,定量人眼在最佳矫正视力下的视觉质量^[35, 36],MTF 值越大成像越清晰。de Santhiago 等^[37]比较了 ReSTOR SN60D3 IOL 及 Tecnis ZM 900 IOL 在 5mm 直径时的 MTF,两者在 5, 10, 15, 20, 25, 30c/d 空间频率上差异均无统计学意义($P > 0.05$)。Fernandez-Vega 等^[38]等对行近视 LASIK 后植入球面 AcrySof ReSTOR SN60D3 IOL 或非球面 Acri. LISA 366D IOL 后和有晶状体眼的 MTF 进行测量,结果显示 3mm 及 6mm 瞳孔直径下非球面 Acri. LISA 366D IOL 及有晶状体眼的 MTF 差异无统计学意义,而 6mm 瞳孔直径下两者与球面 AcrySof ReSTOR SN60D3 IOL 的差异均有统计学意义。

4.2 点扩散函数 点扩散函数(point spread functions, PSF)是反映一点光源投射到患者视网膜上后产生的光强度和位置的偏差,形成光斑的强度越大,说明点光源经过人眼光学系统折射后光能量损失越少;形成的光斑面积越小,说明点光源经过人眼光学系统折射后弥散越小,视网膜成像质量越好,可用斯特列尔比(strehl ratio)来定量表达^[35, 39, 40]。PSF 取决于投射过程中产生的像差、衍射和散射的共同影响^[41],可较全面、准确、客观、定量地对视网膜的成像质量进行评估,科学地评价视网膜成像质量,从而为我们提供了一种新的像质评定方法。Santhiago 等^[32]利用 OPD-Scan 像差仪比较了 30 例一侧眼植入非球面 Akreos AO IOL 对侧眼植入球面 Akreos Fit IOL(Bausch & Lomb 公司)患者术后 MTF 值及斯特列尔比,结果表明在 4.5, 5, 6mm 时 Akreos AO IOL 的 MTF 值及 strehl ratio 均好于 Akreos Fit IOL。Alio 等^[42]利用 Ophthalmic Analysis System(Wavefront Sciences 公司)及 Visual Optics Laboratory(VOL)软件对非球面多焦点 Acri. Lisa 366D IOL 的研究表明 MTF 及 strehl ratio 较好。Ortiz 等^[43]采用与 Alio 同样的方法比较研究了 AcrySof MA60 IOL(Alcon 公司)、衍射型 AcrySof ReSTOR IOL(Alcon 公司)及折射型 ReZoom IOL(Advanced Medical Optics)的 MTF 值及斯特列尔比。

5 对比敏感度 对比敏感度(contrast sensitivity, CS)是在视角和对比度结合的基础上测定人眼对不同空间频率的图形分辨能力;眩光敏感度(glare sensitivity, GS)检测杂射光在眼内的光散射引起的对比敏感度下降效应。CS 可评价白内障患者及其术后的视觉质量和 PCO 对视觉质量的影响,是确定白内障手术和 Nd:YAG 激光后囊膜切开术时机以及评价手术疗效的有效指标。CS 的改变与晶状体混浊的类型、部位、瞳孔大小有关。混浊越靠近视区中央影响越大;当混浊部位及程度相同时,混浊部位对于 CS 的影响顺序为:晶状体后囊膜下 > 皮质 > 核性;瞳孔大时,周边混浊影响 CS;瞳孔小时,中央混浊影响 CS。

6 双眼视觉功能

对于双眼白内障患者,为满足不同的生活方式所产生的个性化视觉需要,近年来提出双眼 IOL 混合搭配(mix

and match)治疗方案,即为患者主视眼植入远视力较好的折射型 IOL、非主视眼植入近、中视力较好的衍射型或可调节 IOL,可在一定程度上为患者提供双眼较好的远近视力,尤其是能够矫正老视的中程视力,从而提高双眼视觉功能^[44]。有学者为患者主视眼植入以远视力为主导的多焦点 ReZoom IOL,非主视眼植入以近视力为主导的多焦点 Tecnis ZM900 IOL 的混合搭配方案,初步的评估显示术后可帮助患者获得较满意的全程视力及视觉效果^[45, 46]。Gunenc 等^[47]比较了混合搭配植入 Ceeon 和 Array 及双眼植入 Ceeon 及 Array IOL 后患者的视觉质量,认为混合搭配能够产生较好的中间视力,提高景深和对比敏感度。

7 展望

功能性视力涵盖了连续性功能视力、像差、散射光、对比敏感度等检查方法,开辟了行觉认识的新领域,可以客观、灵敏、全面的反映视觉质量。可对白内障早期诊断、手术时机选择、个体化的 IOL 选择有指导意义,使屈光性、老视矫正性白内障手术更安全、更有效。对于白内障术后的患者,综合上述功能性视力检查结果,可以找出患者主观视觉质量差的原因。相信随着对功能性视力认识的不断深入,多中心、大样本、随机、对照、盲法的功能性视力临床应用的前景将是十分广阔的,必将成为眼科诊疗技术的里程碑。

参考文献

- 1 Colenbrander A. Assessment of functional vision and its rehabilitation. *Acta Ophthalmol* 2010;88(2):163-173
- 2 Kaido M, Dogru M, Yamada M, et al. Functional visual acuity in Stevens-Johnson syndrome. *Am J Ophthalmol* 2006;142(6):917-922
- 3 Goto E, Yagi Y, Matsumoto Y, et al. Impaired functional visual acuity of dry eye patients. *Am J Ophthalmol* 2002;133(2):181-186
- 4 Ishida R, Kojima T, Dogru M, et al. The application of a new continuous functional visual acuity measurement system in dry eye syndromes. *Am J Ophthalmol* 2005;139(2):253-258
- 5 Tanaka M, Takano Y, Dogru M, et al. Effect of preoperative tear function on early functional visual acuity after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2004;30(11):2311-2315
- 6 哈文静,徐惠芳,邹文青,等. LASIK 术后泪液稳定性及功能性视力的研究. *国际眼科杂志* 2009;9(11):2118-2120
- 7 刘祖国,罗雨辉,张振平,等. 超声乳化白内障吸除术后泪膜的变化. *中华眼科杂志* 2002;38(5):374-377
- 8 Van Den Berg TJ, Van Rijn LJ, Michael R, et al. Straylight effects with aging and lens extraction. *Am J Ophthalmol* 2007;144(3):358-363
- 9 van Rijn LJ, Nischler C, Michael R, et al. Prevalence of impairment of visual function in European drivers. *Acta Ophthalmol* 2011;89(2):124-131
- 10 Rozema JJ, Van den Berg TJTP, Tassignon MJ. Retinal Straylight as a Function of Age and Ocular Biometry in Healthy Eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51(5):2795-2799
- 11 Franssen L, Taberner J, Coppens JE, et al. Pupil size and retinal straylight in the normal eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007;48(5):2375-2382
- 12 van Gaalen KW, Koopmans SA, Hooymans JM, et al. Straylight measurements in pseudophakic eyes with natural and dilated pupils; one-year follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(6):923-928
- 13 van der Meulen IJ, Engelbrecht LA, Van Riet TC, et al. Contributions of the capsulorhexis to straylight. *Arch Ophthalmol* 2009;127(10):1290-1295
- 14 de Waard PW, JK IJ, van den Berg TJ, et al. Intraocular light scattering in age-related cataracts. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1992;33(3):618-625
- 15 Aslam TM, Haider D, Murray IJ. Principles of disability glare

- measurement; an ophthalmological perspective. *Acta Ophthalmol Scand* 2007;85(4):354-360
- 16 Bettelheim FA, Ali S. Light scattering of normal human lens. III. Relationship between forward and back scatter of whole excised lenses. *Exp Eye Res* 1985;41(1):1-9
- 17 Coppens JE, Franssen L, van Rijn LJ, et al. Reliability of the compensation comparison stray-light measurement method. *J Biomed Opt* 2006;11(3):34027
- 18 Franssen L, Coppens JE, van den Berg TJ. Compensation comparison method for assessment of retinal straylight. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47(2):768-776
- 19 Coppens JE, Franssen L, van den Berg TJ. Reliability of the compensation comparison method for measuring retinal stray light studied using Monte-Carlo simulations. *J Biomed Opt* 2006;11(5):054010
- 20 van den Berg TJ, Franssen L, Coppens JE. Straylight in the human eye: testing objectivity and optical character of the psychophysical measurement. *Ophthalmic Physiol Opt* 2009;29(3):345-350
- 21 Michael R, van Rijn LJ, van den Berg TJ, et al. Association of lens opacities, intraocular straylight, contrast sensitivity and visual acuity in European drivers. *Acta Ophthalmol* 2009;87(6):666-671
- 22 de Vries NE, Franssen L, Webers CA, et al. Intraocular straylight after implantation of the multifocal AcrySof ReSTOR SA60D3 diffractive intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(6):957-962
- 23 Hofmann T, Zuberbuhler B, Cervino A, et al. Retinal straylight and complaint scores 18 months after implantation of the AcrySof monofocal and ReSTOR diffractive intraocular lenses. *J Refract Surg* 2009;25(6):485-492
- 24 de Vries NE, Webers CA, Montes-Mico R, et al. Visual outcomes after cataract surgery with implantation of a +3.00D or +4.00D aspheric diffractive multifocal intraocular lens; Comparative study. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(8):1316-1322
- 25 van Gaalen KW, Koopmans SA, Jansonius NM, et al. Clinical comparison of the optical performance of aspheric and spherical intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(1):34-43
- 26 Lundstrom M, Brege KG, Floren I, et al. Impaired visual function after cataract surgery assessed using the Catquest questionnaire. *J Cataract Refract Surg* 2000;26(1):101-108
- 27 Kuroda T, Fujikado T, Maeda N, et al. Wavefront analysis in eyes with nuclear or cortical cataract. *Am J Ophthalmol* 2002;134(1):1-9
- 28 Wang L, Koch DD. Custom optimization of intraocular lens asphericity. *J Cataract Refract Surg* 2007;33(10):1713-1720
- 29 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
- 30 Nochez Y, Favard A, Majzoub S, et al. Measurement of corneal aberrations for customisation of intraocular lens asphericity: impact on quality of vision after micro-incision cataract surgery. *Br J Ophthalmol* 2010;94(4):440-444
- 31 Yamaguchi T, Negishi K, Ono T, et al. Feasibility of spherical aberration correction with aspheric intraocular lenses in cataract surgery based on individual pupil diameter. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(10):1725-1733
- 32 de Santhiago MR, Netto MV, Barreto J Jr, et al. Optical quality in eyes implanted with aspheric and spherical intraocular lenses assessed by NIDEK OPD-Scan; a randomized, bilateral, clinical trial. *J Refract Surg* 2011;27(4):287-292
- 33 连慧芳,汤欣,宋慧. 超声乳化白内障吸除术前角膜球差对相对个性化非球面人工晶状体植入的影响. *中华眼科杂志* 2010;46(5):410-414
- 34 Vilarrodona L, Barrett GD, Johnson B. High-order aberrations in pseudophakia with different intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2004;30(3):571-575
- 35 Rawer R, Stork W, Spraul CW, et al. Imaging quality of intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2005;31(8):1618-1631
- 36 Kawamori T, Uozato H. Modulation transfer function and pupil size in multifocal and monofocal intraocular lenses in vitro. *J Cataract Refract Surg* 2005;31(12):2379-2385
- 37 de Santhiago MR, Netto MV, Barreto J Jr, et al. A contralateral eye study comparing apodized diffractive and full diffractive lenses; wavefront analysis and distance and near uncorrected visual acuity. *Clinics (Sao Paulo)* 2009;64(10):953-960
- 38 Fernandez-Vega L, Madrid-Costa D, Alfonso JF, et al. Optical and visual performance of diffractive intraocular lens implantation after myopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(5):825-832
- 39 Marsack JD, Thibos LN, Applegate RA. Metrics of optical quality derived from wave aberrations predict visual performance. *J Vis* 2004;4(4):322-328
- 40 Bellucci R, Morselli S, Piers P. Comparison of wavefront aberrations and optical quality of eyes implanted with five different intraocular lenses. *J Refract Surg* 2004;20(4):297-306
- 41 Charman WN. Wavefront technology: past, present and future. *Cont Lens Anterior Eye* 2005;28(2):75-92
- 42 Alio JL, Elkady B, Ortiz D, et al. Clinical outcomes and intraocular optical quality of a diffractive multifocal intraocular lens with asymmetrical light distribution. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(6):942-948
- 43 Ortiz D, Alio JL, Bernabeu G, et al. Optical performance of monofocal and multifocal intraocular lenses in the human eye. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(5):755-762
- 44 Lacmanovic-Loncar V, Pavicic-Astalos J, Petric-Vickovic I, et al. Multifocal intraocular "mix and match" lenses. *Acta Clin Croat* 2008;47(4):217-220
- 45 Goes FJ. Visual results following implantation of a refractive multifocal IOL in one eye and a diffractive multifocal IOL in the contralateral eye. *J Refract Surg* 2008;24(3):300-305
- 46 Hutz WW, Bahner K, Rohrig B, et al. The combination of diffractive and refractive multifocal intraocular lenses to provide full visual function after cataract surgery. *Eur J Ophthalmol* 2010;20(2):370-375
- 47 Gunenc U, Celik L. Long-term experience with mixing and matching refractive array and diffractive CeeOn multifocal intraocular lenses. *J Refract Surg* 2008;24(3):233-242