

# 后房型人工晶状体的位置对视觉质量的影响

陈静敏, 王立

作者单位: (529030) 中国广东省江门市, 中山大学附属江门医院 (江门市中心医院) 眼科  
作者简介: 陈静敏, 女, 在读硕士研究生, 医师, 研究方向: 白内障。  
通讯作者: 王立, 男, 硕士, 主任医师, 主任, 中山大学硕士研究生导师, 研究方向: 白内障。w13702286267@qq.com  
收稿日期: 2014-08-09 修回日期: 2014-11-18

## Effects of the position of posterior chamber intraocular lens on visual quality

Jing-Min Chen, Li Wang

Department of Ophthalmology, Jiangmen Central Hospital, the Affiliated Hospital of Sun Yet-sen University, Jiangmen 529030, Guangdong Province, China

**Correspondence to:** Li Wang. Department of Ophthalmology, Jiangmen Central Hospital, the Affiliated Hospital of Sun Yet-sen University, Jiangmen 529030, Guangdong Province, China. w13702286267@qq.com

Received: 2014-08-09 Accepted: 2014-11-18

### Abstract

• Intraocular lens (IOL) often has different degrees of tilt, decentration and rotation in the eye. The deflection of IOL is an important factor to impact on the visual quality of the patients with cataract surgeries. Vision was commonly used to evaluate visual quality before. In recent years, some new methods are also introduced to evaluate visual quality, such as optical aberration, modulation transfer function (MTF) and subjective visual perception. They show that the IOL deflection will cause decreases in eyesight and MTF, cause increase in aberration, lead to ametropia and so on. Therefore, a better evaluation of the effects of IOL deflection on visual quality, has significance for IOL selection, positioning and cataract individualized treatment.

• **KEYWORDS:** lenses; intraocular; visual quality; rotation; tilt; decentration

**Citation:** Chen JM, Wang L. Effects of the position of posterior chamber intraocular lens on visual quality. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2014;14(12):2172-2175

### 摘要

人工晶状体 (intraocular lens, IOL) 在眼内常有不同程度的倾斜、偏心或旋转, 是影响白内障患者术后视觉质量的重要因素。以往常用视力来评价视觉质量, 近年来引入像差、调制传递函数 (modulation transfer function, MTF)、主

观视觉评价等新指标, 表明 IOL 偏斜将引起视力下降、像差增加、MTF 下降、屈光不正等。因此, 更好地评价 IOL 偏斜对视觉质量的影响, 将对 IOL 选择、定位和白内障个体化治疗具有指导意义。

**关键词:** 晶状体; 人工; 视觉质量; 旋转; 倾斜; 偏心

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2014.12.17

**引用:** 陈静敏, 王立. 后房型人工晶状体的位置对视觉质量的影响. *国际眼科杂志* 2014;14(12):2172-2175

### 0 引言

白内障居世界致盲眼病的第一位。白内障超声乳化联合人工晶状体 (intraocular lens, IOL) 植入术是目前应用最广的治疗白内障的手术方式。白内障手术已逐渐从复明手术向屈光手术转变, 术后良好的视觉质量成为患者和眼科医生不断追求的目标, 其中 IOL 在眼内的位置是否偏斜是影响视觉质量的重要因素。我们就后房型单焦点 IOL 的偏斜对视觉质量的影响作以下综述。

### 1 IOL 在眼内的位置

各种 IOL 都是基于模型眼在理想植入状态下所形成的光学特征而设计的, 但 IOL 植入人眼后, 可能产生倾斜与位移而影响视网膜成像质量。据报道, IOL 的位置异常发生率为 7% ~ 40%<sup>[1]</sup>。宋旭东等<sup>[2]</sup>报道 1991 年以前植入的 IOL, 偏心  $\leq 0.6\text{mm}$ , 倾斜  $\leq 7^\circ$ 。Eppig 等<sup>[3]</sup>总结了 1999 至 2009 年间 IOL 平均倾斜  $2.62^\circ \pm 1.14^\circ$  ( $0.20^\circ \sim 8.17^\circ$ ), 平均偏心  $0.30 \pm 0.16$  ( $0.00 \sim 1.09$ ) mm。刘春雷等<sup>[4]</sup>发现单片式软性 IOL 植入术后 IOL 光轴大多偏向颞下方。可见随着技术的发展, 严重 IOL 偏斜的发生已显著减少, 但仍不可避免。后房型 IOL 位置发生偏斜的原因很多, 可归纳为三方面因素: (1) 手术因素: 术中后囊膜破裂、囊膜放射状撕裂、玻璃体脱出、皮质残留、晶状体襻不对称放置、IOL 的固定方式、囊袋或悬韧带松弛、悬韧带断裂等。(2) IOL 因素: IOL 大小与囊袋大小不成比例、IOL 形态、IOL 材料等。(3) 患者因素: 葡萄膜炎、囊袋纤维化、囊袋收缩综合征、假性囊膜剥脱综合征、眼球外伤、后发性白内障等。就目前技术水平而言, 连续环形撕囊和 IOL 囊袋内植入是降低 IOL 偏斜发生率的最有效措施。其次, 术中吸除干净残留皮质、不伤及悬韧带及虹膜、选择合适的 IOL、避免眼部炎症活动期手术也是降低 IOL 偏斜发生率的有效途径。IOL 的偏斜包括水平方向上的旋转、偏中心, 以及垂直方向上的倾斜、沿视轴的前后移位等。Hayashi 等<sup>[5]</sup>认为即使在正常情况下, IOL 在眼内也会有  $3^\circ$  倾斜和  $0.3\text{mm}$  偏心。Uozato 等<sup>[6]</sup>和 Guyton 等<sup>[7]</sup>报道, IOL 偏心量超过  $1.0\text{mm}$  或倾斜度大于  $5^\circ$  就会影响视觉质量。

### 2 IOL 的位置对视觉质量的影响

有学者把非球面 IOL、多焦点 IOL、散光型 IOL、可调

节 IOL 等归纳为功能型 IOL,把球面 IOL、单焦点 IOL 等归纳为传统型 IOL。大量研究表明,同样的倾斜和偏心程度在功能型 IOL 中引起的视觉质量下降均大于传统型 IOL。随着技术发展和仪器更新,评价视觉质量的指标也不断增多,除了较常用的裸眼视力、矫正视力等,近年来还引入了像差、调制传递函数(modulation transfer function, MTF)、主观视觉质量调查问卷等指标。

**2.1 IOL 的位置与像差** 像差(optical aberration)是在光学中实际像与根据单透镜理论确定的理想像的偏离。对于模型眼,Turuwhenua<sup>[8]</sup>发现,IOL 偏心能引起彗差,合并 IOL 倾斜方向的不同能增大或减小其彗差。随后很多学者对人眼进行了更深入的探讨。Oshika 等<sup>[9]</sup>、Taketani 等<sup>[10]</sup>和方艳文等<sup>[11]</sup>研究表明,IOL 倾斜度的增加与白内障术后彗差的增加有显著相关性,而 IOL 的偏心虽能引起彗差,但与术后彗差、球差及总高阶像差无明显相关性。另外,方艳文等<sup>[11]</sup>认为白内障患者术后瞳孔直径为 5mm 时,IOL 的倾斜与次级彗差也呈正相关。Oshika 等<sup>[9]</sup>发现经巩膜后房型 IOL 的倾斜与偏心引起的彗差值会更大。

球面 IOL 的球差值大于零,非球面 IOL 的球差值小于零或者等于零。朱海丰等<sup>[12]</sup>在模型眼研究中发现 IOL 在眼内无倾斜和偏心时,负球差 IOL 的视觉质量优于零球差和正球差 IOL;当 IOL 倾斜和偏心程度一定时,负球差 IOL 的视觉质量降低最明显,零球差 IOL 的视觉质量明显优于负球差和正球差 IOL。Eppig 等<sup>[3]</sup>在人眼的研究中也与朱海丰等<sup>[12]</sup>在模型眼中的类似结论。Petermeier 等<sup>[13]</sup>、Baumeister 等<sup>[14]</sup>和王莹等<sup>[15]</sup>也表明,非球面 IOL 较球面 IOL 减少了全眼球差,IOL 轻微的倾斜和偏心不会影响非球面 IOL 对球差的补偿作用,不足以导致视觉质量下降。也有学者表明,当瞳孔直径为 5mm 时,偏心 1mm 的零球差 IOL 较偏心 0.38mm 的负球差 IOL 或完全居中的球面 IOL 的成像质量更好<sup>[3,16]</sup>。

但若 IOL 的偏斜超过了一定量,非球面 IOL 将可能失去优势。Piers 等<sup>[17]</sup>认为在 IOL 倾斜大于 10°,偏心量大于 0.8mm 时,Tecnis 非球面 IOL 视觉质量下降大于球面 IOL。Holladay 等<sup>[18,19]</sup>报道,IOL 倾斜大于 15°可产生彗差,且 IOL 偏心大于 0.4mm 和倾斜大于 7°将抵消矫正球差的益处。宋旭东等<sup>[2]</sup>和 Altmann 等<sup>[16]</sup>报道,非球面 Tecnis Z9000 IOL 偏心的范围必须在 0.5mm 以内,倾斜范围必须在 7°以内;当负球差 IOL 偏离视轴  $\geq 0.5$ mm,会产生高阶像差(如彗差),并降低视觉质量。Wang 等<sup>[20]</sup>研究表明,在瞳孔直径 5mm 时,为满足 50% 患者术后总高阶像差小于或等于角膜高阶像差,非球面 IOL 的偏心应小于 0.39mm。Atchison<sup>[21]</sup>发现 IOL 在  $\leq 10^\circ$  的倾斜或  $\leq 1.5$ mm 的偏位范围内,可用框架眼镜矫正偏斜引起的散光。但散光型 Toric IOL 的偏心与倾斜引起的高阶像差改变,则难以通过配镜来矫正。

可见模型眼与人眼的研究结果基本一致。对于人眼的研究,大部分结果显示 IOL 的倾斜与彗差、次级彗差呈正相关,IOL 的偏心与球差、总高阶像差无明显相关。由于 IOL 在眼内总有不同程度的偏斜,在 IOL 偏斜量较小时,零球差 IOL 所引起的像差改变较小,其视觉成像质量可能更优于负球差 IOL 和球面 IOL。

**2.2 IOL 的位置与光学传递函数** 光学传递函数(optical transfer function, OTF)是对于非相干光照明下的衍射受限系统、表征系统的成像质量的指标。目前国内外研究光学

系统的成像质量时,一般只考虑其中影响较大的 MTF。单用像差不能全面反映视网膜成像质量,MTF 描述了不同空间频率下物像对比度和光学系统成像质量的关系。MTF 值越大,视网膜成像质量越好<sup>[22]</sup>。而且 MTF 不受主观因素的影响,能够客观反映人工晶状体眼的光学成像质量,因此越来越多地应用于临床。

很多学者在模型眼上尝试了 MTF 的测量。Holladay 等<sup>[19]</sup>早期曾以 MTF 在模型眼对非球面 IOL 进行了评价,发现当非球面 IOL 偏心超过 0.4mm,倾斜超过 7°时,非球面 IOL 的 MTF 将不及传统球面 IOL。Taketani 等<sup>[10]</sup>通过体外实验也得出类似结论。Eppig 等<sup>[3]</sup>在模型眼上设定  $\pm 3^\circ$  的倾斜,发现零球差和正球差 IOL 对此程度的倾斜造成的 MTF 值下降幅度比负球差 IOL 下降幅度小,但 3 种球差的 IOL 对此程度倾斜造成的 MTF 值下降幅度的差异无统计学意义。朱海丰等<sup>[12]</sup>在模型眼上将偏心值固定,倾斜度由 3°增加到 10°时发现,零球差 IOL 的 MTF 值明显优于正球差 IOL,正球差的 MTF 值优于负球差 IOL。

对于人眼,可能由于实际的 IOL 偏斜没有模型眼设置的大,所以大部分研究结果未见统计学差异。Baumeister 等<sup>[23]</sup>和王莹等<sup>[15]</sup>研究均表明,IOL 的倾斜和偏心对 HOAs 和各频率下的 MTF 值均无明显影响。张伟等<sup>[24]</sup>的研究中,球面 AR40e 组和非球面 ZA9003 组两组 IOL 倾斜和偏心对各自的 HOAs 及各频段的 MTF(HOA)值均无明显影响。说明当 IOL 的倾斜和偏心在正常限度内时,不会危害非球面 IOL 对球差的补偿作用,不足以导致视觉质量的下降。但是也有学者持不同的观点,如李威威等<sup>[25]</sup>发现非球面 IOL 对大倾斜度 IOL(IOL 倾斜大于 1°)所造成的视觉质量改变(表现在两者 MTF 值差异有统计学意义)在一些空间频率(20,25c/d)下比球面 IOL 敏感。以上研究表明,在连续环形撕囊及 IOL 囊袋内植入的正常手术条件下,IOL 的倾斜和偏心在一定范围内对 MTF 产生影响很小。为测量 IOL 的倾斜和偏心的细微影响,可能还需要更大样本的研究。

**2.3 IOL 的位置与屈光状态** IOL 的偏心和倾斜可改变屈光状态,例如近视漂移、斜轴散光、焦点侧向移位等。IOL 倾斜可引起柱镜矫正效果下降,倾斜越厉害矫正效果越差。IOL 前移可增加柱镜矫正效果,患者在术后早期可发生近视漂移现象<sup>[26]</sup>;IOL 后移可减弱柱镜矫正效果。其中散光型 IOL、多焦点 IOL 对其位置引起的影响更为敏感。Holladay 等<sup>[27]</sup>在 Gullstrand 标准眼模型中测出 PC-IOL 光学部每前移 1mm,相对应的近视变化为 1.90D。不同学者研究的 IOL 类型不尽相同,其所得的 IOL 偏斜、旋转及屈光改变的度数也略有不同。方艳文等<sup>[11]</sup>研究表明,最佳矫正视力与 IOL 倾斜度呈负相关。Korynta 等<sup>[28]</sup>和 Holladay<sup>[18]</sup>报道 IOL 偏心大于 1mm,倾斜大于 5°可引起屈光不正;IOL 的 12°倾斜和 3.0mm 偏位可以造成患者术后 -7.0D 的近视及 +4.0D 的散光<sup>[29]</sup>。Kozaki 等<sup>[30]</sup>的研究表明,囊袋内植入后房型 IOL 平均倾斜  $7.53^\circ \pm 3.03^\circ$ ,平均偏位  $0.68 \pm 0.33$ mm,而由偏斜引起的散光约在 0.40D 以内。Hotta 等<sup>[31]</sup>发现 IOL 度数相同的情况下,巩膜固定后屈光状态比正常白内障手术偏近视约 0.8D。

大部分患者对散光型 IOL 在囊袋内的旋转引起的视觉改变最为敏感,因为轴向每偏离 1°就会减少 0.033% 的柱镜矫正度数。散光型 IOL 在术后早期都可能发生旋转,不同程度的轴向偏离对患者术后散光有不同程度的影响。



严重的偏离可能会使患者术后的散光比术前更高。苏定旺等<sup>[32]</sup>认为散光型 IOL 如果散光轴位偏离预定轴位 10°, 矫正效果下降 1/3; 偏离 20°, 矫正效果下降 2/3; 而偏离超过 30°, 会引起额外的散光。另外, 多焦点 IOL 的位置还与患者瞳孔的大小、瞳孔是否居中、瞳孔对光线的反应等因素密切相关, 植入多焦点 IOL 的患者对视觉质量的要求也与其是否需要驾驶或在暗环境下工作、适应多焦影响的能力等自身因素不同而有很大差别。国外有经验证明, 当瞳孔中心与 IOL 中心偏差大于 0.3 ~ 0.5mm 以上, 就会降低多焦点 IOL 的视觉性能。虽然影响眼屈光状态的因素多而复杂, 但通过以上研究仍可见 IOL 的倾斜、偏位、旋转若超过一定范围会对屈光状态产生影响, 从而影响视觉质量。

**2.4 IOL 的位置对主观视觉质量的影响** 随着人们的生活水平和人均寿命的不断提高, 白内障患者对术后视觉效果的期望也越来越高。因此评价白内障患者术后的视觉质量, 除了通过仪器测量相关客观指标外, 患者的主观感受及心理因素也愈加受关注。大量研究表明, IOL 的倾斜和偏心可影响术后离焦和散光等屈光状态和波前像差, 使得影像的周边部分在视网膜上不能成像, 导致伪影、眩光、散光、视物晕轮及单眼复视等症状<sup>[33, 34]</sup>, 从而干扰双眼视功能, 影响术后最佳矫正视力。Schwenn 等<sup>[35]</sup>发现 IOL 偏离中心 0.52mm, 光学区可利用面积损失 11%; 偏离中心值越大, 损失越大。陆斌等<sup>[36]</sup>的研究显示, 当 IOL 的倾斜大于 9.65°, 同时偏位大于 1.02mm 时, 眩光、单眼复视等症状明显。随着术后时间的推移, IOL 偏斜严重者还会造成 IOL 夹持、角膜内皮损伤、虹膜炎、周边虹膜前黏连、继发性青光眼等眼病<sup>[37]</sup>, 引起疼痛、畏光等症状。以上可见, IOL 的倾斜和偏心会引起患者主观视觉不适, 不适程度的大小与 IOL 偏斜程度和患者个体差异有关, 目前还缺少大样本量表调查, 因此较难定出一个引起患者主观视觉不适的 IOL 偏斜分界线。

### 3 展望

综上所述, 后房型 IOL 在眼内一般会有不同程度的倾斜、偏心、旋转等, 随着白内障手术的技术愈加成熟, IOL 偏斜的程度将不断减小。若 IOL 偏斜程度非常轻微, 一般不会引起患者的不适; 若 IOL 偏斜程度较大, 会导致像差增加、MTF 下降、屈光不正等, 患者将可能出现视力下降、眩光、单眼复视等不适。大部分情况下, 对于功能型 IOL, 同样的偏斜对视觉质量的影响一般比传统型 IOL 更大。对于白内障手术技术尚未成熟的医院, 可能选用传统型 IOL 更为合适。

后房型 IOL 在眼内的偏斜不可避免, 当偏斜引起患者轻度的视觉不适时, 可根据引起偏斜的原因先采取保守观察和药物治疗。当 IOL 偏斜引起患者重度的视觉不适时, 排除手术禁忌症后可采用手术干预。医生可根据具体情况选择眼前段手术或玻璃体视网膜手术来进行 IOL 的复位、取出或置换。综合国内外学者的研究, 后房型 IOL 的偏斜对视觉质量的影响这一研究范畴仍有待更深入的钻研, 主要体现在以下几个方面: (1) 缺乏大样本、多中心的研究说明引起视觉质量下降的 IOL 偏斜范围。(2) IOL 的种类繁多, 随着新型 IOL 的不断推出, 如散光型 IOL、多焦点 IOL、可调节 IOL 等, 不同 IOL 的偏斜范围引起的视觉质量满意度可能不尽相同, 需要更大量的研究结果来指导医生和患者对 IOL 的选择。(3) 促进白内障手术治疗达

到个体化水平。临床上有些白内障患者术后视力较好, 却有视物模糊、视物缺乏真实感等不适症状, 手术效果满意程度也因患者对 IOL 偏斜的耐受能力不同等个体差异而不同。如果能增加更多评价视觉质量的指标, 将更多模型眼、基础研究的理论应用于人眼和临床, 将能更全面、更细致地评估患者的视觉质量。这有助于选择更适合患者的手术方式和 IOL, 使患者术后视觉质量进一步提高, 也更好地发挥转化医学在眼科的应用, 迈向个体化治疗的新高度。(4) 关注白内障患者的心理健康。手术并不是解决 IOL 偏斜的唯一途径, 保守的观察和药物治疗应始终予以考虑。根据生物-心理-社会医学模式, 临床上需要更多关于评估白内障患者的主观感受及心理精神状态等的研究, 在 IOL 不同偏斜状态下可以更好地指导白内障的治疗。(5) 探索 IOL 偏斜是否存在积极的临床意义。Mester 等<sup>[38]</sup>提出人的晶状体原本也存在一定的偏心, IOL 组与透明晶状体组在眼内的偏心和倾斜无明显差异, 提示轻微的双眼对称性 IOL 颞上方倾斜和鼻侧偏心可能对角膜水平彗差有补偿作用。Artal 等<sup>[39]</sup>也提出人的晶状体要偏心 0.5 ~ 1.5mm 才能补偿各种像差(散光、彗差、以及球差等)。然而 IOL 不完全同于自然晶状体, IOL 偏斜与自然晶状体偏斜是否有关联或类似作用, 仍需进一步研究。随着新型 IOL 的推出, 为了追求更好的视觉质量, 如何更精确地测量、标记、固定 IOL 的位置, 保持 IOL 眼内良好的居中性, 以及探索 IOL 的偏斜对双眼视功能、主观视觉质量量表调查等的研究, 将成为未来研究的热点。

### 参考文献

- 1 姚克. 复杂病例白内障手术学. 北京: 北京科学技术出版社 2004: 252
- 2 宋旭东, 郭佳. 如何理解和选择非球面人工晶状体. 眼科 2007; 16(2): 82-84
- 3 Eppig T, Scholz K, Löffler A, et al. Effect of decentration and tilt on the image quality of aspheric intraocular lens designs in a model eye. *J Cataract Refract Surg* 2009; 35(6): 1091-1100
- 4 刘春雷, 黄芳, 俞阿勇, 等. 应用三维眼前节分析仪对单片式折叠型人工晶状体在眼内位置分布规律的研究. 中华实验眼科杂志 2011; 29(10): 913-917
- 5 Hayashi K, Harada M, Hayashi H, et al. Decentration and tilt of polymethyl methacrylate, silicone, and acrylic soft intraocular lenses. *Ophthalmology* 1997; 104(5): 793-798
- 6 Uozato H, Okada Y, Hirai H. The tolerable limits of IOL tilt and decentration. *Jpn Rev Clin Ophthalmol* 1988; (82): 2308-2311
- 7 Guyton DL, Uozato H, Wisnicki HJ. Rapid determination of intraocular lens tilt and decentration through the undilated pupil. *Ophthalmology* 1990; 97(10): 1259-1264
- 8 Turuwhenua J. A theoretical study of intraocular lens tilt and decentration on perceptual image quality. *Ophthalmic Physiol Opt* 2005; 25(6): 556-567
- 9 Oshika T, Sugita G, Miyata K, et al. Influence of tilt and decentration of scleral-sutured intraocular lens on ocular higher-order wavefront aberration. *Br J Ophthalmol* 2007; 91(2): 185-188
- 10 Taketani F, Matura T, Yukawa E, et al. Influence of intraocular lens tilt and decentration on wavefront aberrations. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30(10): 2158-2162
- 11 方艳文, 卢奕, 汪琳, 等. 人工晶状体偏心和倾斜与高阶像差的相关性. 中华眼视光学与视觉科学杂志 2010; 12(4): 251-255
- 12 朱海丰, 方基良, 刘永基. 人工晶状体倾斜与偏心对人工眼视功能的影响. 光子学报 2008; 37(1): 140
- 13 Petermeier K, Frank C, Gekeler F, et al. Influence of the pupil size

on visual quality and spherical aberration after implantation of the Tecnis 1-piece intraocular lens. *Br J Ophthalmol* 2011;95(1):42-45

14 Baumeister M, Bühren J, Kasper T, et al. Intraocular lens tilt and decentration and wavefront aberrations in spheric and aspheric intraocular lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46:811

15 王莹,马忠旭,刘汝瑜,等. 不同人工晶状体植入术后倾斜和偏心对视觉质量的临床研究. *天津医科大学学报* 2011;17(4):521-524

16 Altmann GE, Nichamin LD, Lane SS, et al. Optical performance of 3 intraocular lens designs in the presence of decentration. *J Cataract Refract Surg* 2005;31(3):574-585

17 Piers PA, Weeber HA, Artal P, et al. Theoretical comparison of aberration - correcting customized and aspheric intraocular lenses. *J Refract Surg* 2007;23(4):374-384

18 Holladay JT. Evaluating the intraocular lens optic. *Surv Ophthalmol* 1986;30(6):385-390

19 Holladay JT, Piers PA, Koranyi G, et al. A new intraocular lens design to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes. *J Refract Surg* 2002;18(6):683-691

20 Wang L, Koch DD. Effect of decentration of wavefront - corrected intraocular lenses on the higher - order aberrations of the eye. *Arch Ophthalmol* 2005;123(9):1226-1230

21 Atchison DA. Optical design of intraocular lenses. III. On - axis performance in the presence of lens displacement. *Optom Vis Sci* 1989;66(10):671-681

22 Diaz-Douton 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(4):1710-1716

23 Baumeister M, Bühren J, Kohnen T. Tilt and decentration of spherical and aspheric intraocular lenses; effect on higher - order aberrations. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(6):1006-1012

24 张伟,马忠旭,刘汝瑜,等. 球面和非球面人工晶状体倾斜和偏心对视觉质量的影响. *中国实用眼科杂志* 2010;28(11):1232-1235

25 李威威,汤欣,宋慧,等. 球面与非球面人工晶状体的倾斜度对调制传递函数的影响. *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2010;12(6):424-428

26 Caporossi A, Casprini F, Tosi GM, et al. Preliminary results of

cataract extraction with implantation of a single-piece AcrySof intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2002;28(4):652-655

27 Holladay JT. Refractive power calculations for intraocular lenses in the phakic eye. *Am J Ophthalmol* 1993;116(1):63-66

28 Korynta J, Bok J, Cendelin J, et al. Computer modeling of visual impairment caused by intraocular lens misalignment. *J Cataract Refract Surg* 1999;25(1):100-105

29 Korynta J, Bok J, Cendelin J. Changes in refraction induced by change in intraocular lens position. *J Refract Corneal Surg* 1994;10(5):556-564

30 Kozaki J, Tanihara H, Yasuda A, et al. Tilt and decentration of the implanted posterior chamber intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 1991;17(5):592-595

31 Hotta K. Postoperative refractive error of secondary intraocular lens implantation after simultaneous vitrectomy and lensectomy. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2007;38(4):336-338

32 苏定旺,钟丘,岑志敏,等. 不同类型丙烯酸酯人工晶状体囊袋旋转稳定性的临床比较. *临床眼科杂志* 2010;18(2):109-112

33 Subramaniam S, Tuft SJ. Early decentration of plate-haptic silicone intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2001;27(2):330-332

34 Lyu S, Untereker D. Degradability of polymers for implantable biomedical devices. *Int J Mol Sci* 2009;10(9):4033-4065

35 Schwenn O, Kottler U, Krummenauer F, et al. Effect of large positioning holes on capsule fixation of plate-haptic intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2000;26(12):1778-1785

36 陆斌,沈泽民. 后房型人工晶体倾斜和偏心的活体测量及研究. *中华眼科杂志* 1999; (1):40

37 Goldsmith JA, Li Y, Chalita MR, et al. Anterior chamber width measurement by high - speed optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2005;112(2):238-244

38 Mester U, Sauer T, Kaymak H. Decentration and tilt of a single-piece aspheric intraocular lens compared with the lens position in young phakic eyes. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(3):485-490

39 Artal P, Guirao A, Berrio E, et al. Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye. *J Vis* 2001;1(1):1-8