

# 非球面与球面人工晶状体植入术后视功能的临床对比研究

硕士生姓名：张朝凯

指导教师：邵彦教授

指导小组：

专业名称：眼科学

## 摘要

**目的：**探讨非球面人工晶状体(Aspheric intraocular lens, AIOL)植入的安全性及视功能改善的有效性。

**方法：**选取 2008 年 1 月—2008 年 12 月在台湾台北诺贝尔眼科中心行白内障超声乳化人工晶状体植入患者 38 例（60 眼），按手术次序编号随机分组分为研究组和对照组，研究组（AIOL 组）30 眼行白内障超声乳化联合 AIOL 植入术，植入 SN60WF IOL；对照组（球面 IOL 组）30 眼行白内障超声乳化联合球面人工晶状体(intraocular lens, IOL)植入术，植入 SN60AT IOL。观察手术中及手术后并发症情况；术后 3 个月时观察 IOL 位置，行裸眼视力(uncorrected visual acuity, UCVA)、最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA)及 IOL 位置检查，在 3mm 和 6mm 直径瞳孔条件下行术眼 4 阶球差均方根(Z40 root mean square, Z40 RMS) 及总高阶像差的均方根 (root mean square of all the high rank aberration, RMSH)检查；同时调查患者不良视觉症状，调查满意度，有驾驶经历者调查夜间驾驶舒适度。

**结果：**所有病例未发生术中及术后并发症。术后 3 个月时行术眼裂隙灯显微镜检查未发现 IOL 偏中心或偏斜，行 UBM 检查，所有患者 IOL 双襞均位于囊袋内，研究组有 2 眼 IOL 光学部轻度偏移，对照组有 3 眼 IOL 光学部轻度偏移，其余眼 IOL 光学部居中。术后 3 个月时研究组与对照组 UCVA 和 BCVA 对比无显著性差异（ $P>0.05$ ）。无论在 3mm 还是 6mm 直径瞳孔条件下，研究组 Z40 RMS 明显小于球面 IOL 组（ $P<0.05$ ）；但 RMSH 两组间无显著性差异（ $P>0.05$ ）。无论是研究组还是对照组，术

后 3 个月时 6mm 直径瞳孔下 Z40 RMS 及 RMS<sub>h</sub> 测量值均大于 3mm 瞳孔下测量值 ( $P<0.05$ )。术后 3 个月时研究组发生眩光、光晕及暗视力不良视觉症状的比例低于对照组 ( $P<0.05$ )；研究组患者满意率高于对照组 ( $\chi^2=4.356$ ,  $P<0.05$ )。研究组有 6 例有夜间驾驶经历，诉感觉舒适者 5 例，对照组有 5 例有夜间驾驶经历，仅有 1 例诉夜间驾驶舒适。

**结论：**AIOL 可以通过降低 IOL 眼的球差，来提高视功能，对于瞳孔偏大的人群及暗环境尤为适宜。

**关键词：**人工晶状体 非球面 像差

# **Clinical Comparison of Visual Performance after the Implantation of Aspheric Intraocular Lens (IOL) and Spherical IOL**

Master degree candidate: **David Chaokai Chang M.D**

Supervisor: Professor Shao Yan

Vice-supervisor:

Major: Ophthalmology

## **Abstract**

**Objective:** To investigate the security and the efficacy of the visual performance after the implementation of aspheric intraocular lens (AIOL).

**Methods:** 38 patients(60 eyes) who accepted phacoemulsification on cataract and IOL implementation were selected in Nobel Eye institute, Taipei, Taiwan between January and December, 2008; the study group with 30 eyes accepted phacoemulsification coupled with AIOL implantation with SN60WF IOL implanted, the control group with 30 eyes accepted phacoemulsification coupled with spherical IOL implantation with SN60AT IOL implanted; the complications were observed during and after the surgery; uncorrected visual acuity(UCVA), best corrected visual acuity(BCVA) and IOL position, Z40 root mean square(Z40 RMS) and root mean square of all the high order aberration(RMS<sub>H</sub>) were examined. Three months after the surgery; simultaneously, the degree of satisfaction and the adverse visual symptoms such as glare, halo disturbance, poor night vision, and the comfort of nighttime driving for cases with driving experience, were investigated.

**Results:** All cases were operated by the same experienced doctor, without any complication detected during and after the surgery. Three months after the surgical therapy, the slit-lamp microscope found no rotation; the UBM examination found the couple bands of IOLs in all cases were inside the bags; in the study group, there two eyes whose IOLs slightly offset while in the control group, there were three were. Three months

after the therapy, there was no significant difference of UCVA and BCVA between the two groups ( $P>0.05$ ). in term of pupil diameter of both 3mm and 6mm, the Z40 RMS of the study group was significantly less than the control group( $P<0.05$ ); however, the difference of RMSH between the two groups was not significant( $P>0.05$ ). three months after the operation, all values of Z40 RMS and RMSH in the eyes with pupil diameter of 6mm were higher than those of 3mm( $P<0.05$ ). The frequency of adverse symptoms in the study group was lower than the control group ( $P<0.05$ ).the satisfaction rate in the study group was higher than the control group ( $\chi^2=4.356$ ,  $P<0.05$ ). Furthermore,in the study group there were 6 cases with nighttime driving experience, 5 of whom felt comfortable while in the control group there were 5 cases, only 1 of whom felt comfortable.

**Conclusion:** AIOL can improve the visual performance through reduction of the spherical aberration, particularly suitable for the cases with bigger pupils and those who in the dark surrounds.

**Key Words:** intraocular lens aspheric aberration

## 综述

# 人眼像差与非球面人工晶状体的研究进展

张朝凯综述

邵彦审校

随着白内障摘除手术技术的日新月异,人工晶状体(intraocular lens, IOL)材料和设计的日趋完善,越来越多的学者将白内障摘除 IOL 植入术定义为屈光手术之一。随着生活水准的提高,白内障患者对术后视功能的改善提出了更高的要求。临床上部分患者术后虽客观视力良好,但出现夜视力差、眩光、视物变色等症状。于是在临床上开始将波前像差技术引用于人眼光学系统的研究。其中利用波面像差技术设计,可以矫正角膜高阶像差的非球面人工晶状体(Aspheric intraocular lens, AIOL)就是一种新型的 IOL。本文就人眼像差及 AIOL 研究进展做一综述。

### 一、人眼的像差

一束平行光线经过理想的光学系统后将聚集于一点。对于无屈光异常的眼球,只有通过瞳孔中心的光线才满足这一条件,其它光线,特别是由瞳孔周边进入眼内的光线经过不对称、不规则的屈光介质发生偏差,光线在视网膜平面放大,从而产生像差。像差包括球面像差,斜射像散,彗星像差,像的畸变和像的场曲<sup>[1]</sup>。像差可概括为两类:一类是色像差,由屈光介质的分散性决定;另一类是单色像差,由屈光介质的几何学特性决定,屈光介质的倾斜、偏心和以光轴为中心的非对称性改变是单色像差的基础。

人眼产生像差的原因是:(1)角膜和晶状体表面不规则,表面曲率存在局部偏差;(2)角膜和晶状体不同轴;(3)眼内各屈光介质的光学性质存在不均一性,使折射率出现局部偏差<sup>[2]</sup>。人眼的像差主要由角膜像差和内部像差(主要是晶状体)组成<sup>[3]</sup>。屈光角膜手术或白内障手术使屈光介质表面的空间构型发生变化,可以引起像差的变化<sup>[4]</sup>。

影响人眼像差的因素有:(1)年龄:研究表明人眼的像差随年龄的增长而发生变化,高阶像差与年龄呈正相关,随年龄增长而增大<sup>[5-10]</sup>,其中角膜像差变化相对较少,晶状体的像差变化较大。人在年轻时,晶状体的负球差可以部分补偿角膜的正球差,但随年龄的增长,晶状体的球差逐渐由负向正转变,尤其在年龄超过 40 岁后,晶状体对整体像差的补偿作用减小甚至消失,进而人眼出现对比敏感度和视力下降。(2)调节:调节可改变晶状体的形状和位置,像差也随之发生相应变化。He 等<sup>[11]</sup>

研究表明单色像差随调节的增加而增大，但个体的变化有所不同。球差通常随调节的增大而减小；第四阶像差随调节的变化、方向和大小因个体不同而异；四阶以上的像差最小值出现在无调节状态。Pallikaris 等<sup>[12]</sup>报道年轻人的像差随快速调节而增长，而老年人无变化；慢速逐步调节会导致高阶像差减小。(3) 瞳孔直径：瞳孔直径小时，衍射限制人眼的空间分辨率；瞳孔直径大时，限制视觉质量的主要是各种像差和光散射。瞳孔中央很小范围内的像差很小，直径在 2-3 mm 范围内的像差通常小于光波长的 1/4，故当瞳孔直径小于此范围时，可认为视网膜的成像质量不受像差和散射的影响。当瞳孔直径较大时，周边像差和光散射将相互作用影响视网膜的成像质量<sup>[13]</sup>。研究证实，散瞳条件下的整体像差明显高于小瞳孔的整体像差，且散瞳条件下高阶像差对成像质量的影响显著增大<sup>[14]</sup>。

目前最常用的定量表达波阵面像差的方法之一是 Zernike 多项式。它计算各条光线的光程（实际波前）与通过瞳孔中心的主光线的光程（理想波前）的差值。常用的 Zernike 多项式为 7 阶 36 项。0 阶为无像差；1-2 阶为低阶像差；3 阶以上为高阶像差。低阶像差与传统的像差即近视、远视、散光相对应；高阶像差包括所有不能通过镜片矫正的屈光误差，慧差、三叶草、球差等像差。每一阶中的单个 Zernike 系数值有正也有负值，在计算每一阶的总体像差或眼的整体像差时，须引入均方根(root mean square, RMS)的概念。RMS 值是每一像差 Zernike 系数值的平方和的 2 次开方，因此不受正值负值的影响，能反应眼的整体像差。

## 二、IOL 对像差的影响

1、IOL 的材料对像差的影响：IOL 材料的屈光指数和受外力后的复原能力不同，因此均可能导致术后术眼的像差发生变化。Villarrodona 等<sup>[15]</sup>比较了丙烯酸酯、硅凝胶及 PMMA 3 种材料 IOL 植入术后术眼的高阶像差，发现植入丙烯酸酯 IOL 者术后高阶像差最大，而其他两者间比较差异无统计学意义。分析其原因可能是丙烯酸酯材料的屈光指数较高(1.55)，在 IOL 光学部的前、后表面形成较强的反射光线(有害光线)；丙烯酸酯 IOL 在植入人眼的过程中，折叠后的复原性欠佳，存在残余变形。这些因素均可能导致视网膜成像发生偏曲，像差增大。部分研究认为高屈光指数 IOL 可引起高水平的色像差<sup>[16]</sup>。

2、IOL 光学部的形状对像差的影响：Uchio 等<sup>[17]</sup>研究植入不同光学设计 IOL 的术眼术后球面像差与 IOL 光学设计之间的关系、球面像差与眩光的关系，分别植入形状为平凸(前凸后平)、前凸明显、前后凸相同、

后凸明显的 IOL，光学部材料均为 PMMA，术后采用计算机辅助光线追迹法测量术眼的球面像差。结果显示使用平凸 IOL 者球面像差最小(高屈光度数除外)；使用高屈光度数前凸明显的 IOL 者球面像差较小；使用低屈光度数前、后凸相同和后凸明显的 IOL 者具有较大的球面像差，且使用后凸明显的 IOL 者球面像差随屈光度数的增加而增大；使用前 3 种 IOL 者术后的球面像差与眩光间具有明显的相关性。对以上结果进行分析，其原因可能是因 IOL 的不同球面设计产生的球面像差大小不同所致，而球面像差又是引起眩光的主要原因之一。部分研究认为传统的球面高屈光度数 IOL 可使术眼出现明显的正球面像差，直接减小术眼的调制传递函数。Kaemmerer 等<sup>[18]</sup>研究植入不同光学设计的人工晶体眼的球面像差和眩光的关系。分别植入平凸、双凸(前面较凸)、双凸(前后相同)、双凸(后面较凸)型人工晶体，术后三月作眩光检查。用计算机辅助的像差仪测量球面像差，结果发现，平凸型人工晶体组球面像差最小(高度数除外)，高度数的双凸型(前面较凸)人工晶体组也有较小的球面像差，低度数的双凸(前后相同)和双凸型(后面较凸)人工晶体组显示了较大的球面像差，在双凸型(后面较凸)人工晶体组球面像差随度数增加而增加，在平凸、双凸(前面较凸，前后相同)型人工晶体组，术后球面像差和眩光明显相关，在双凸型(后面较凸)人工晶体组两者无关。

3、IOL 位置的变化对人眼像差的影响：IOL 位置的稳定性（包括轴向移位、偏中心、倾斜等）均可影响视网膜成像质量，也是阻碍白内障患者术后视功能恢复的重要原因之一。Mcnonnell<sup>[19]</sup>等研究发现 6mm 直径的 IOL 的调味孔和晶状体边缘在瞳孔区外露的机会较多，而 7mm 直径的 IOL 出现这种现象较少。Kozaki<sup>[20]</sup>等研究发现，IOL 偏中心和入射线的角度增加时，视网膜成像变模糊，可能是由散光、彗差、场曲所致，IOL 偏中心时双凸形 IOL 的成像质量比凹凸形 IOL 好，缩瞳时可减少 IOL 的偏中心及倾斜造成的成像模糊，研究同时采用 Gullstrand 模型眼对 IOL 倾斜、偏中心对像差的影响进行了理论分析，认为 IOL 偏中心 2 mm 即可导致像差增大，视网膜成像偏曲<sup>[20, 21]</sup>。另有研究表明 IOL 襻与光学部存在夹角，且材料为 PMMA，光学部边缘为直角设计的 IOL，术后易发生前、后移位<sup>[22, 23]</sup>。有研究表明单纯的前、后移位可直接导致离焦，即近视或远视漂移。IOL 轻度偏中心和倾斜可引起屈光误差，由于引入了不对称因素，故导致像差改变，如慧差、像散增大等<sup>[24]</sup>。

### 三、非球面人工晶状体（AIOL）及其研究进展

#### 1 AIOL 的设计及类型

研究表明,角膜的正球面像差可以通过晶状体的负球面像差得到平衡,因此眼的总球面像差处于较低水平,人眼具有最佳的视功能<sup>[25, 26]</sup>。随着年龄的增长,晶状体也会逐渐发展发生改变,其主要表现在波前像差的增加。约40岁后,晶状体的球面像差逐渐转为正性,增加了眼的总球面像差<sup>[27]</sup>,导致对比敏感度等视功能减退。当白内障患者植入传统的球面IOL,其视功能不会较一个拥有透明晶状体的老年人有所提高<sup>[28]</sup>。基于这一理论,如果植入的IOL能够将人眼的像差状态恢复到年轻人水平,患者就可以获得较高的视觉质量。研究显示,光线通过距离中轴2mm的球面时其成像偏差可达1.5D,而为了减小球面像差,使光线通过IOL时能汇聚在一点,IOL的曲率半径应该随着中轴线距离的增加而增加。因此,一个理想的IOL必定不是一个规则的球面。非球面人工晶状体是根据人眼像差的分析数值,将人工晶状体的表面加工成前二次曲面、环曲等非球面,其目的主要是抵消角膜的球面像差,减少伪晶状体眼的总体像差,从而提高视网膜的成像质量。

## 2、AIOL 的研究进展

### (1) AIOL 与波前像差

愈来愈多的研究表明:年龄、像差和视功能三者之间关系密切。波前像差是IOL眼和正常眼之间及不同IOL之间成像质量差异的重要指标。IOL眼总波前像差、分阶波前像差均明显增高,可合理解释IOL眼出现眩光、暗视力差、视物变形等问题<sup>[29, 30]</sup>。植入传统的球面IOL后,人眼的像差尤其是球面像差增加,引起视觉质量下降<sup>[29]</sup>。Mester等<sup>[31]</sup>选择45位双眼白内障患者,1只眼植入Tecnis z9000,另外1只眼植入球面IOL Allergan(SI-40),术后Tecnis z9000组球差接近于零,SI-40组球差明显高于Tecnis组。Werner等<sup>[32]</sup>报告非球面的晶状体可使球差趋于最小,成像质量明显优于球面人工晶状体。Holladay等<sup>[33]</sup>植入改良的前表面扁平的人工晶状体能减少角膜的球差,提高视网膜成像质量。

### (2) AIOL 与对比敏感度(Contrast sensitivity, CS)、眩光敏感度(Glare sensitivity, GS)

CS及GS检查可早期、灵敏全面地反映早期老年性白内障患者的视功能状态,为早期有症状的老年性白内障患者确定手术时机提供科学依据,也是评价手术疗效的有效标准。许多研究指出,对轻中度白内障患者,CS和GS检查比视力更敏感更有意义<sup>[34-36]</sup>。Mester等<sup>[31]</sup>和大谷绅一郎等<sup>[37]</sup>的临床对比研究发现,患者一眼植入AIOL,另一眼植入双凸球面IOL,术后3个月植入非球面晶状体眼的低频段对比敏感度明显增高,



球差明显低于球面晶状体。Deepak 等对于 AcrySof SA60AT IOL (40 eyes), AcrySofNatural SN60AT IOL (40 eyes)及 AcrySof IQ SN60WF IOL (40 eyes)的对比研究表明 AcrySof IQ SN60WF IOL 在各个空间频率上的对比敏感度明显好于另外两种 IOL。

### (3) AIOL 与调制转换函数 (modulation transfer function, MTF)

MTF 表现了一个镜头(如 IOL)对所摄物体对比度的再现能力,是镜头分辨力和对比度的综合体现。MTF 值越高, IOL 能产生的视觉质量就越好,而 MTF 值下降大多表现为术后分辨力的下降,提高 MTF 还可以减少像差。研究表明:与传统的 IOL 相比,非球面 IOL 如 AcrySof IQ、Tecnis 和 Tecnis ZM900 等均能够提供更好的 MTF。对比研究同等屈光力(+20D)的 IOL,结果表明 TecnisA IOL 的 MTF 明显好于球面 IOL<sup>[38]</sup>。各型多焦点 IOL 的共同缺点是可引起 CS 及 GS 的下降<sup>[39]</sup>,而 AIOL 与传统的球面 IOL 相比产生不同的 MTF,从而产生不同的对比敏感度,其高频对比敏感度明显优于传统的球面 IOL,因此能较好地改善成像质量。

### (4) AIOL 与瞳孔直径

球面像差是由大量通过球面 IOL 边缘部位的光线引起,瞳孔直径越大,穿越 IOL 边缘部的光线越多,球面像差变得越大,因此球面像差与瞳孔直径的大小关系重大。AIOL 的光学特性能否充分发挥主要取决于瞳孔直径的大小<sup>[40]</sup>。在日光或强光下,瞳孔直径小于 2 mm 时,即使是球面 IOL 也不会使眼睛产生影响视觉的像差。但是在昏暗的照明或夜间瞳孔扩大到 5 mm 以上时,AIOL 的光学特性就会显现出来。另外,由于年轻人较老年人瞳孔扩张能力更强,所以相比而言,AIOL 对于年轻的白内障患者以及对夜间车辆驾驶等暗视力要求较高的人更适合。而最近的研究表明,AIOL 消除像差的功能与瞳孔的直径密切相关:当瞳孔直径在 3.0~6.0mm 之间时,AIOL 可明显降低第四阶像差的均方根;但当瞳孔直径为 6.0 mm 时,AIOL 只能降低高阶像差的均方根<sup>[41]</sup>。

### (5) AIOL 自身的像差值与伪调节

AIOL 主要有两种类型:(1)本身为负球面像差的 IOL:这类 IOL 可以平衡或抵消角膜的正球面像差,从而减小眼的球面像差,提高视功能。常见的有 Acrysof SN60WF 和 TecnisZ9000。这类 IOL 包含有两种设计理念:第一种理念是使全眼的球面像差无限接近于零,此时 IOL 的调制转换函数(modulation transfer function, MTF)得到提高,但焦点附近 MTF 有时会比球面 IOL 低,在临床上会导致调节范围变窄的可能。第二种理念是略保留一点正的球差,理论上既能达到较好的视觉质量又避免了调

节变窄。(2)本身为零球面像差的 IOL: 这类 IOL 不改变角膜及眼球固有的球面像差, 因而不能弥补角膜的正球差, 但保持了良好的焦深, 避免了偏位倾斜造成光学性能下降的风险。常见的有 Sof-PortAo、AkreosAo 等。

光学专家认为一定的正的球面像差可以增加景深, 并有助于消除其他像差的视觉影响并得到一定的伪调节。另外, 人眼发育和视觉质量最好的时期为二十几岁, 而这个年龄段的人眼具有一定的正的球面像差。因此, 与角膜球面像差相抵后仍留有适当正的球面像差的非球面人工晶状体更科学。

#### (5)AIOL 的倾斜和偏位

Atchison[42]等研究表明: 在 AIOL 中央固定好的情况下, 球面像差减少, MTF 也非常良好。偏位或倾斜时, 人眼的彗差和散光等像差就会增大, 因此对于这种 AIOL 支持部机械特性的要求就会提高。支持襻的材质、形状以及在通过植入器细窄的管路后能否恢复原来的设计形状而使 IOL 保持良好的居中性和稳定性变得更为重要。据报道, AQ-310Ai 倾斜  $10^{\circ}$  以内、Tecnis(20 D 时)倾斜  $7^{\circ}$  以内, MTF 的值仍好于球面 IOL; 另外, AQ-310Ai 在 1 mm 以内、Tecnis 在 0.4 mm 以内, AIOL 的 MTF 值好于球面 IOL。SofPort AO 因为是零球差 IOL, 所以即使倾斜或偏位, 人眼像差也不会增加。

#### (6)AIOL 与生活舒适度

视力是目前临床上评价白内障患者术后 IOL 眼视功能的主要指标, 包括裸眼远、近视力和最佳矫正远、近视力。AIOL 的重要功能之一在于它能够比较全面地提高患者的功能性视力, 特别是在黄昏、夜晚、有雾或驾车的情况。Bellucc 等[43]对用 ETDRS 表对比研究了 Tecnis Z9000 与 Acrysof SA60AT 在最佳矫正视力方面的差异, 结果显示 Tecnis Z9000 组为  $-0.053 \pm 0.044$  logMAR, 而 Acrysof SA60AT 组则为  $0.006 \pm 0.059$  logMAR; 明视力及中间视力 Tecnis Z9000 组也优于 AcrysoSA60AT。

夜间驾车能力是对 AIOL 评估的一项重要指标, 尤其在欧美国家, 这种功能显得格外重要。有许多研究表明, 传统的球面 IOL(包括单焦点 IOL 和多焦点 IOL)不适宜用于经常夜间驾车的患者。在一项临床可控性、多中心的模拟夜间驾驶的研究中, 研究者采用 Tecnis Z9001 与 SA60AT 进行实验, 结果发现 Tecnis Z9001 人工晶状体可以提供额外 0.5 秒反应时间, 相当于在 89kph 的速度下辨认距离提高了 14 米。患者的驾驶测试行为明显与残余的球面像差有关, 这说明矫正球面像差可显著改善驾

驶员识别目标的能力和在低能见度条件下操作的能力。

以患者主观视觉质量满意度和日常生活能力等综合评价标准,评估视功能以及与之相关的视觉和生存质量状况是一种评价白内障摘除联合 IOL 植入手术效果较好较全面的手段<sup>[44-47]</sup>。AIOL 设计的独特之处在于它可以减少像差,因而可以给那些临床上视力较好但诉夜间驾车反应减慢、强光下视力模糊等问题的患者带来更精细和谐的视觉,尤其是低能见度条件下的视功能,提高他们的生存质量<sup>[48]</sup>。

#### (7) AIOL 存在的问题

对于 AIOL 是否比普通球面晶状体有较大的优势,一些研究者提出以下问题:①减小的球差不足以引起主观感觉: Dietze<sup>[49]</sup>等认为消除 c4(0)系数而改善的成像质量仅类似于改变 0.05 个屈光度的离焦。MunozG 认为 CS 检查对于两者视觉质量的差别不够敏感,同时认为 AIOL 带来的眼睛光学性能上的改善,并非是提高视觉质量所必需的。②一部分像差是有利的: Kelly 认为这种眼的微小像差能够抑制视网膜感受器的饱和,从而产生较好的视觉效果。某种意义上说,至少一部分像差对于视觉质量是有利的。③瞳孔影响: Dietze 认为球差受到年龄相关性瞳孔缩小的影响。年龄相关性瞳孔缩小能够将球面像差减小到 6mm 瞳孔大小时的三分之一。Wenner<sup>[32]</sup>等认为 AIOL 特别适用于瞳孔在 5mm 以上的白内障患者。那么对于瞳孔较小的老年人,植入 AIOL 的意义有多大尚需进一步实验证明。④视网膜黄斑神经节细胞衰退的影响: 由于功能性视力不仅受到屈光系统的影响,还主要依靠眼底视网膜及黄斑的功能,这使一部分高龄患者对于球差的变化不敏感。⑤居中及倾斜的影响: Hollay 通过对 Tecnisz9000 的研究表明它必须放在倾斜小于 7 度,中心偏位小于 0.4mm 的范围内,如超出此范围,植入 AIOL 眼的高阶像差增大,降低成像质量。WangL 等通过模拟植入 AIOL 及波阵面矫正的 IOL,评估了偏位对于高阶像差的影响,结果表明 AIOL 偏位产生彗差,认为瞳孔为 4mm 时偏位程度不能超过 0.27mm,瞳孔为 6mm 时偏位不能超过 0.37mm。而目前的环形撕囊及囊袋内 IOL 植入术平均 IOL 居中程度在 0.1~0.3mm 之间。⑥球差及色差的平衡问题: FranchiniA 等的研究表明, Tecnis z9000 AIOL 可以解决球差的问题,仍未能解决色像差的问题。因为一定量的正球面像差可以减轻色差及高阶单色像差的副作用。那么这种色差影响与球差对于患者的影响哪个更大一些,对具有较大色差的眼睛是否还要将球差矫正为零?怎样才能使球差和色差达到理想的程度是有待于进一步研究的问题。⑦角膜像差的影响: 角膜像差随年龄增长无明显变化, 50

岁以后眼内晶状体的像差变化是导致总像差增加的主要原因。Amano 等<sup>[50]</sup>却认为，角膜彗差随着年龄的增长有增加趋势，角膜球差随年龄无明显变化。因此如果角膜像差(彗差)随年龄有明显变化，那么角膜的彗差也是影响老年人视觉质量的因素，这也是 AIOL 不能够解决的问题。

#### 四、展望

非球面人工晶状体的设计生产是基于波阵面像差技术在眼科中的应用。通过波面像差技术可以分析测定人眼像差的变化和状态,然后根据波前像差仪测定的数据进行非球面人工晶状体的研制,所以人们也将新一代非球面人工晶状体称为波阵面像差晶状体(wave-front IOL)。但是，与波阵面像差引导的准分子激光手术不同，这种波阵面像差引导设计的人工晶状体无法根据每一个患者角膜与眼球的整体像差而设计生产,而是根据人眼像差的均值而确定的，因此它不是个体化的。然而大量的研究表明 AIOL 确实能够提高白内障患者的矫正视力和暗光线下的对比敏感度,能够提高患者的视觉质量。展望未来，我们还可以在患者没有患白内障之前就记录下患者的像差情况，当患者发生白内障需进行白内障手术和植入 IOL 时，我们可以根据其术前的像差状况，给患者植入一个适合其术前屈光状态的个体化人工晶体，使患眼术后视力更好，大大提高患者的生存质量。

## 参考文献

- 1 李凤鸣主编.眼科全书(下册).北京:人民卫生出版社 1996, 2515~2517
- 2 MolebnyVV, Panagopoulou SI, MolebnySV, et al Principles of ray tracing aberrometry. J Refract Surg, 2000, 16: 572-575.
- 3 ArtalP. Understanding aberrationsby using double-pass techniques. J Refract Surg, 2000, 16: 560-562.
- 4 Mierdel P, et al. Effects of photorefractive keratectomy and cataract surgery on ocular optical errors of higher order. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 1999 237: 725~729
- 5 Mrochen M, Kaemmerer M, Mierdel P, et al Principles of tschering aberrometry. J Refract Surg, 2000, 16: 570-571.
- 6 KaemmererM, Mrochen M, Mierdel P, et al Clinical experience with the tschering aberro-meter. J Refract Surg, 2000, 16: 584- 587.
- 7 ArtalP, Berrio E, GuiraoA, et al Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrationswith age. J Opt Soc Am A Opt Image SciVis, 2002, 19: 137-143.
- 8 Smith G, AtchisonD. The gradient index and spherical aberration of the lens of the human eye. Ophthalmic PhysiolOpt, 2001, 21: 317-326.
- 9 WangL, DaiE, KochDD. Opticalaberrations of the human anterior cornea. J Cataract Ref Surg, 2003, 29: 1514-1521.
- 10 Artal P, Berris E, GuiraoA, et al Contribution of the cornea and internal surfaces to the changes of ocular aberration with age. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis, 2002, 19: 137-143.
- 11 He JC, Burns SA, Marcos S. Monochromatic aberrations in the accommodated human eye. VisRes, 2000, 40: 41-48.
- 12 Pallikaris IG, Panagopoulou SI, Siganos CS, et al Objective measurement of wavefront aberrations with and without accommodation. JRefractSurg, 2001, 17: 602-607.
- 13 ArtalP, FernandezE, Manzanera S. Are optical aberrations during accommodation a significant problem for refractive surgery. J Refract Surg, 2002, 18: 563-566.
- 14 CollinsMJ, W ildsoetCF, Atchison DA. Monochromatic aberrations and myopia. Vision Res, 1995, 35: 1157-1163.
- 16 NegishiK, Ohnuma K, Hirayama N, et al Effect of chromatic aberration on contrast sensitivity in pseudophakic eyes. Arch Ophthalmol 2001, 119: 1154-1158.

- 15 Vilarrodona L, Barrett GD, Johnson B. High-order aberrations in pseudophakia with different intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 2004, 30: 571-575.
- 17 Uchio E, Ohno S, Kusakawa T. Spherical aberration and glare disability with intraocular lenses of different optical design. *J Cataract Refract Surg*, 1995, 21: 690-696.
- 18 Mierdel P, et al. Effects of photorefractive keratectomy and cataract surgery on ocular optical errors of higher order. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1999 237: 725~729
- 19 McDonnell PJ, Spalton DJ, Falcon MG. Decentration of the posterior chamber lens implant: the effect of optic size on the incidence of visual aberrations. *Eye*, 1990, 4(pt 1): 132-137.
- 20 Kozaki J, Tanihara H, Yasuda A, et al. Tilt and decentration of the implanted posterior chamber intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 1991, 17: 592-595.
- 21 Kozaki J, Takahashi F. Theoretical analysis of image defocus with intraocular lens decentration. *J Cataract Refract Surg*, 1995, 21: 552-555.
- 22 Wirtitsch MG, Findl O, Menapace R, et al. Effect of haptic design on change in axial lens position after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2004, 30: 45-51.
- 23 Petternel V, Menapace R, Findl O, et al. Effect of optic edge design and haptic angulation on postoperative intraocular lens position change. *J Cataract Refract Surg*, 2004, 30: 52-57.
- 24 Korynta J, Bok J, Cendelin J, et al. Computer modeling of visual impairment caused by intraocular lens misalignment. *J Cataract Refract Surg*, 1999, 25: 100-105.
- 25 Glasser A, Campbell MCW. Presbyopia and the optical changes in the human crystalline lens with age. *Vision Res*, 1998, 38: 209-229
- 26 Artal P, Berrio E, Guirao A, et al. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. *J Opt Soc A Opt Image Sci Vis*, 2002, 19: 137-143.
- 27 Artal P, Guirao A, Berrio E, et al. Compensation of corneal aberration by the internal optics in human eye. *J Vision*, 2001, 1: 108
- 28 Atchison DA. Design of aspheric intraocular lenses. *Ophthalmic Physiol Optics*, 1991, 11: 137-146
- 29 Vilarrodona L, Barrett GD, Johnson B. High-order aberrations in pseudophakia with different intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 2004; 30(3): 571-575.

- 30 Miller JM, Anwaruddin R, Straub J, et al. Higher order aberrations in normal, dilated, intraocular lens, and laser in situ keratomileusis corneas. *J Refract Surg*, 2002;
- 31 Mester U, Dillinger P, Anterist N. Impact of a modified optical design on visual function. Clinical comparative study [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2003, 29 : 652-660.
- 32 Werner W, Roth EH. Image properties of spherical as opposed to aspheric intraocular lenses [J]. *Klin Monatsbl Augenheilkd*, 1999, 214: 246-250.
- 33 Holladay JT, Piers PA, Koranyi G, et al. A new intraocular lens design to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes [J]. *J Refract Surg*, 2002, 18(6): 683-691.
- 34 Elliott DB, Bullimore MA, Patla AE, et al. Effect of a cataract simulation on clinical and real world vision. *Br J Ophthalmol*, 1996; 80(9): 799-804.
- 35 Martin L. Computerized method to measure glare and contrast sensitivity in cataract patient. *J Cataract Refract Surg*, 1999; 25: 248-253.
- 36 Superstein R, Boyaner D, Overbury O, et al. Glare disability and contrast sensitivity before and after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 1997; 23: 248-253.
- 37 大谷 紳一郎, 宮田 和典: 非球面眼内レンズ [J]. *眼科手術*, 2005, 18: 353-355.
- 38 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: 683-691.
- 39 Montes-Mico R, Espana E, Bueno I, et al. Visual performance with multifocal intraocular lenses: mesopic contrast sensitivity under distance and near conditions, *Ophthalmology*, 2004; 111: 85-96.
- 40 本周子. 非球面眼内レンズ. *IOL&RS* [M]. Vol. 19. No. 3. 2005: 271-274.
- 41 Kasper T, Bühren J, Kohnen T. Intraindividual comparison of higher-order aberrations after implantation of aspherical and spherical intraocular lenses as a function of pupil diameter. *J Cataract Refract Surg*, 2006; 32(1): 78-84.
- 42 Atchison DA. Design of aspheric intraocular lenses [J]. *Ophthalm Physiol Opt*, 1990, 11: 137-146.
- 43 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: 712-717.
- 44 Bernth-Petersen P. Visual functioning in cataract patients. Methods of measuring and results. *Acta Ophthalmol (Copenh)*, 1981; 59: 198-205.
- 45 Elliott DB, Hurst MA, Weatherill J. Comparing clinical tests of visual function in

- cataract with the patient's perceived visual disability. *Eye*, 1990; 44: 712-717.
- 46 Steinberg EP, Tielsch JM, Schein OD, et al. The VF-14. An index of functional impairment in patients with cataract. *Arch Ophthalmol*, 1994; 112: 630-638.
- 47 Chan CW, Wong JC, Chan KS, et al. Evaluation of quality of life in patients with cataract in Hong Kong. *J Cataract Refract Surg*, 2003; 29: 1753-1760.
- 48 Packer M, Fine IH, Hoffman RS, et al. Improved functional vision with a modified prolate intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 2004; 30: 986-992.
- 49 Fujikado T, Kuroda T, Ninomiya S. Age-related changes in ocular and corneal aberrations [J]. *Am J Ophthalmol*, 2004, 138(1) : 143-146.
- 50 Amano S, Amano Y, Yamagami S, et al. Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations [J]. *Am J Ophthalmol*, 2004, 137(6) : 988-992.



# 非球面与球面人工晶状体植入术后视功能的临床对比研究

硕士生姓名：张朝凯

指导教师：邵彦教授

指导小组：

专业名称：眼科学

## 前言

随着白内障超声乳化联合人工晶状体植入术日臻完美，人工晶状体（intraocular lens, IOL）材料及设计不断推陈出新，白内障手术已由一种复明手术转变为一种屈光手术。医生和患者不仅要求白内障术后视物清晰，更希望获得舒适、持久的更为完美的视觉效果。目前临床上主要应用视力检查来评判白内障术后的视功能，但视力并不能完全反应视功能状况及视觉质量。临床上有部分白内障术后患者在视力改善的同时常伴有眩光、暗视力差以及客观视力好而主观视物模糊等症状。

传统的 IOL 均为球面设计。球面 IOL 具有正性球差，与人眼角膜的正球差相加，使总的球面像差向偏正方增大，影响了患者的视觉质量<sup>[1]</sup>。Kuroda 等<sup>[2]</sup>认为白内障摘出术后人眼的高阶像差明显增大，其中球差变化最为明显，这可能是导致白内障摘出术后术眼出现夜视力差、眩光等视觉症状的主要原因之一。

正常人眼的晶状体前表面为非球面特征的双曲面。理想的人工晶状体并不是一个规则的球面，而是其曲率半径随着距中轴线距离的增加而增加。基于此原理研究人员开始探索光学特性上尽量与自然透明晶体接近，满足非球面的特性，减小全眼球差的人工晶状体。非球面人工晶状体(Aspheric intraocular lens, AIOL)即是基于这一原理上产生的。它采用非球面设计，周边与中轴光线汇于一个焦点。AIOL 的问世，为进一步提高视觉质量带来了希望。笔者所在的台湾台北诺贝尔眼科中心于 2008 年 1 月开始进行白内障超声乳化吸出联合 AIOL 及球面 IOL 植入的对比研究。

## 材料与方法

### 1 研究对象

选取 2008 年 1 月至 2008 年 12 月在台湾台北诺贝尔眼科中心行白内障超声乳化人工晶状体植入患者 38 例 (60 眼), 其中男 24 例 38 眼, 女 14 例 22 眼; 年龄 48~75 岁, 平均( $62.26 \pm 8.97$ )岁。

选择病例标准: (1)年龄相关性白内障患者; (2)晶状体核 II -III 级(参照 LOCSII 分级标准); (3)角膜中央厚度、角膜屈光力等在正常范围内; (4)瞳孔圆而居中, 无前后粘连; (5)无不规则散光, 规则散光度数 $<1.5D$ 。(6)签署知情同意书, 尤其是拟行双眼白内障手术治疗患者同意双眼可能植入不同类型人工晶状体。

病例排除标准: 合并角膜病变、青光眼、视网膜病变、视神经病变、葡萄膜炎、高度屈光不正及心肺疾患者。

满足条件的患者按术眼的手术次序编号随机分组分为研究组和对照组, 研究组 30 眼行白内障超声乳化联合非球面人工晶状体植入术, 植入 Acrysof SN60WF IOL; 对照组 30 眼行白内障超声乳化联合球面人工晶状体植入术, 植入 Acrysof SN60AT IOL。

表 1 研究组与对照组病人情况比较表

组别	眼数	年龄	晶状体核硬度	
			II 级	III 级
研究组 (AIOL 组)	30	$63.41 \pm 8.42$	7	23
对照组 (球面 IOL 组)	30	$61.11 \pm 9.32$	5	25
t	-----	1.0030	-----	-----
$\chi^2$	-----	-----	0.4170	
P	-----	$>0.05$	$>0.05$	

两组间病人年龄及晶状体核硬度对比无显著性差异 ( $P>0.05$ )。

### 2 材料及设备

#### (1) 人工晶状体:

Acrysof SN60WF: 光学部材料为蓝光滤过型丙烯酸酯/甲基丙烯酸酯共聚物, 可滤过波长为 400-475nm 的蓝光, 屈光指数 1.55, 光学部直径 6.0mm, 总长度 13.0mm, 为 AIOL, 其光学部后表面为非球面设计。

Acrysof SN60AT: 光学部材料为蓝光滤过型丙烯酸酯/甲基丙烯酸酯共聚物, 可滤过波长为 400-475nm 的蓝光, 屈光指数 1.55, 光学直径

6.0mm，总长度 13.0mm，为球面 IOL。

## （2）主要设备

Zeiss OPMI Lumera 型手术显微镜，Alcon infiniti 白内障超声乳化仪，Visx Wave Scan S/N2212 像差仪，Totcon CT-60 眼压计，Totcon SL-07 裂隙灯显微镜，Totcon KR-8100 电脑验光仪，Sonomed Model 200P<sup>+</sup>角膜测厚仪，Totcon KR-8100 角膜曲率计，SW-3200 型 UBM。

## （3）手术方法

所有手术均由同一位熟练医师在表面麻醉下实施。术眼复方托吡卡胺眼液(托吡卡胺+盐酸去氧肾上腺素)充分散瞳，盐酸丙美卡因眼液滴眼 6 次表面麻醉，在上方角巩膜缘作宽 3.0mm、长 1.75mm 的角巩膜缘隧道切口，前房内注入粘弹剂爱维，行居中连续环形撕囊，直径 5.0~5.5mm。常规水分离、水分层。囊袋内超声乳化晶状体核，能量 30%，流量 30mL/min，负压 400mmHg。注吸皮质，行后囊膜抛光，再次注入粘弹剂爱维，植入预期 AIOL 或球面 IOL。置换粘弹剂，水化切口，妥布霉素地塞米松眼膏涂术眼结膜囊，无菌眼垫遮盖术眼。术后 24 小时拆除包扎，妥布霉素地塞米松眼液日 5 次点术眼，1 周后逐渐减量，监测眼压；复方托吡卡胺眼液睡前 1 次点术眼 1-2 周，口服广谱抗生素 3 日。

## （4）观察指标

### 1) 手术中及手术后并发症

若术中出现虹膜损伤、晶状体后囊破裂、人工晶状体未植入囊袋内、玻璃体溢出等并发症，或术后有角膜水肿严重、角膜内皮细胞功能失代偿、瞳孔变形、人工晶状体明显偏移或脱位、眼内炎、脉络膜脱离、视网膜脱离、黄斑水肿等并发症的患者中止研究，按脱落病例处理。

2) 术后 3 个月行裸眼视力(uncorrected visual acuity, UCVA)、最佳矫正视力 (best corrected visual acuity, BCVA)及 IOL 位置检查。

UCVA 及 BCVA 采用国际标准对数视力表，IOL 检查采用裂隙灯直视观察结合 UBM 检查。

### 3) 术后 3 个月时行术眼球差检查。

波阵面像差检查：选择在瞳孔直径 3mm 及 6 mm（用散瞳剂散瞳至 6mm）时行像差检查。所有检查均由同一医师操作，每只眼重复检查 4 次或更多，最后选择低阶波阵面像差(近视和散光)与显然验光差异最小，

高阶像差图形和均方根值重复性最好，原始摄图对焦最理想、中心偏位最少的 1 次检查结果进行分析。计量 4 阶球差均方根(Z40 root mean square, Z40 RMS)以及总高阶像差的均方根值 (root mean square of all the high rank aberration, RMS<sub>h</sub>)。

4) 术后 3 个月问卷调查

问卷调查患者不良视觉症状，包括眩光、光晕、暗视力和满意度，满意度分为满意、一般、不满意。有驾驶经历者调查夜间驾驶舒适度。

(5) 统计学方法

本研究使用 SPSS 13.0 统计学软件，采用  $\chi^2$  检验和独立样本 t 检验分别对计数资料和计量资料进行统计学分析。以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

结果

1 术中及术后并发症

所有病例均由同一位熟练医师顺利完成手术，未发生术中虹膜损伤、晶状体后囊破裂、人工晶状体未植入囊袋内、玻璃体溢出等并发症；未发生术后严重角膜水肿、角膜内皮细胞功能失代偿、瞳孔变形、人工晶状体明显偏移或脱位、眼内炎、脉络膜脱离、视网膜脱离、黄斑水肿等并发症。所有研究患者随诊满 3 个月，未有病例脱落。

2 术后 3 个月时 UCVA 、 BCVA 及 IOL 位置

60 眼裂隙灯显微镜检查无一例发现人工晶状体偏中心或人工晶状体偏斜。行 UBM 检查，所有患者人工晶状体双襞均位于囊袋内，研究组有 2 眼人工晶状体光学部轻度偏移，对照组有 3 眼光学部轻度偏移，其余眼人工晶状体光学部居中。

表 2 术后 3 个月时两组术眼视力比较表

观察指标	研究组 (AIOL 组)	对照组 (球面 IOL 组)	t 值	P 值
UCVA	0.68±0.11	0.65±0.07	1.2603	>0.05
BCVA	0.94±0.09	0.89±0.13	0.9798	>0.05

术后 3 个月时研究组与对照组 UCVA 和 BCVA 对比无显著性差异 ( $P>0.05$ )。

### 3 术后 3 个月术眼像差测量值

表 3 术后 3 个月时两组组间术眼像差比较表

观察指标	3mm 瞳孔时像差 (um)		6mm 瞳孔时像差 (um)	
	Z40 RMS	RMS <sub>h</sub>	Z40 RMS	RMS <sub>h</sub>
研究组 (AIOL 组)	0.0456±0.0597	0.2990±0.0925	0.1240±0.1286	0.4820±0.1699
对照组 (球面 IOL 组)	0.1825±0.1019	0.3730±0.1577	0.3327±0.1921	0.5220±0.1911
t 值	3.927	1.627	3.546	0.5830
P 值	0.002	0.115	0.001	0.564

无论在 3mm 还是 6mm 直径瞳孔条件下, 研究组 Z40 RMS 明显小于对照组 ( $P<0.05$ ); 但 RMS<sub>h</sub> 两组间无显著性差异 ( $P>0.05$ )。

表 4 术后 3 个月时两组组内术眼不同瞳孔直径下像差比较表

观察指标	研究组 (AIOL 组)		对照组 (球面 IOL 组)	
	Z40 RMS	RMS <sub>h</sub>	Z40 RMS	RMS <sub>h</sub>
3mm 瞳孔时 像差 (um)	0.0456±0.0597	0.2990±0.0925	0.1825±0.1019	0.3730±0.1577
6mm 瞳孔时 像差 (um)	0.1240±0.1286	0.4820±0.1699	0.3327±0.1921	0.5220±0.1911
t 值	-2.473	-4.230	-2.183	-2.281
P 值	0.018	0.000	0.042	0.035

无论是研究组组内还是对照组组内, 术后 3 个月时 6mm 直径瞳孔下 Z40 RMS 及 RMS<sub>h</sub> 测量值均大于 3mm 瞳孔下测量值 ( $P<0.05$ )

### 4 术后 3 个月问卷调查

表 5 术后 3 个月两组组间术眼不良症状及视功能满意度比较表

组别	眼数	视觉不舒适症状			满意度		
		眩光	光晕	暗视力差	满意	一般	不太满意
研究组	30	1	2	2	26	2	2
对照组	30	6	8	8	19	6	5
$\chi^2$		4.043	4.320	4.320	4.356	—	—
P		0.044	0.038	0.038	0.037	—	—

术后 3 个月时研究组发生眩光、光晕及暗视力等不良视觉症状的比例低于对照组( $P<0.05$ );研究组患者满意率高于球面 IOL 组( $\chi^2=4.356$ ,  $P<0.05$ )。

研究组有 6 例有夜间驾驶经历,诉感觉舒适者 5 例,对照组有 5 例有夜间驾驶经历,仅有 1 例诉夜间驾驶舒适。

## 讨 论

随着白内障超声乳化术及 IOL 植入术的迅猛发展,医生对于白内障手术治疗已不再停留在仅仅是为了治疗眼病及提高视力的水平,患者对于白内障术后的视觉质量也不断提出新的要求。患者希望白内障术后不仅要“看得见”,更要“看得好”。临床实践中,视力表测得的视力是用来衡量白内障患者是否需行手术及对其术后进行评价的主要指标,但视力并不能完全反应视功能状况及视觉质量。临床上经常有白内障术后患者在视力改善的同时伴有眩光、暗视力差以及客观视力好而主观视物模糊等症状。为更好地评价白内障的病情及预后,需要一种更客观的检查来评价视觉功能。

在物理光学中,光被认为是一种波,光从光源向各个方呈波阵面传播。在理想成像的情况下,点光源经过光学系统后所成的像应是一个以理想像点为中心的球面。如果存在偏差,则对应的波面不再是一个以理想像点为中心的球面。理想波面与实际波面间的光程差即称为波前像差。波前像差是衡量光学系统成像质量的重要指标。

人眼并非理想的光学系统,角膜和晶状体存在着各种像差,限制着人眼的视觉质量。人眼像差主要来源于光学系统的缺陷:(1)角膜和晶状体表面不理想,其表面存在局部偏差。(2)角膜和晶状体不同轴。(3)角膜和晶状体的内含物不均匀,以致物体上一点在视网膜的对应点不是一个理想的像点,而是一个发散的光斑,其结果是整个视网膜对比度下降,视觉模糊,这种成像的偏差就是人眼的像差。人眼全部光学缺陷应该用像差描述,包括低阶像差(传统概念上的近视、远视、轴性散光)和高阶像差。高阶像差包括所有不能通过镜片矫正的屈光误差,慧差、三叶草、球差等像差。研究发现球面像差是影响 IOL 眼视觉质量的最重要的高阶像差<sup>[3]</sup>。波前像差可近似地用 Zernike 多项式和均方根(root mean square, RMS)表达,均以  $\mu\text{m}$  计算。RMS<sub>h</sub> 代表总的高阶像差的均方根值。

球差是影响视觉质量的重要因素之一。在人的一生中,角膜处于一个相对稳定的状态,而晶状体的改变是视力和对比敏感度下降的重要影

响因素。对于年轻人，角膜的正球面像差可以通过晶状体的负球面像差得到平衡，因此眼的总球面像差处于较低水平，人眼具有最佳的视功能<sup>[4,5]</sup>。随着年龄的增长，晶状体也会逐渐发展发生改变，其主要表现在波前像差的增加。约 40 岁后，晶状体的球面像差逐渐转为正性，增加了眼的总球面像差<sup>[6]</sup>，导致对比敏感度等视功能减退。当白内障患者植入传统的球面 IOL，其视功能不会较一个拥有透明晶状体的老年人有所提高<sup>[7]</sup>。基于这一理论，如果植入的 IOL 能够将人眼的像差状态恢复到年轻人水平，患者就可以获得较高的视觉质量。研究表明，光线通过距离中轴 2mm 的球面时其成像偏差可达 1.5D，而为了减小球面像差，使光线通过 IOL 时能汇聚在一点，IOL 的曲率半径应该随着中轴线距离的增加而增加。因此，一个理想的 IOL 必定不是一个规则的球面，于是 AIOL 便应运产生了。

AIOL 主要有两种类型：（1）本身为负球面像差的 IOL：这类 IOL 可以平衡或抵消角膜的正球面像差，从而减小眼的球面像差，提高视功能。常见的有 Acrysof SN60WF 和 TecnisZ9000。这类 IOL 包含有两种设计理念：第一种理念是使全眼的球面像差无限接近于零，此时 IOL 的调制转换函数（modulation transfer function, MTF）得到提高，但焦点附近 MTF 有时会比球面 IOL 低，在临床上会导致调节范围变窄的可能。第二种理念是略保留一点正的球差，理论上既能达到较好的视觉质量又避免了调节变窄。（2）本身为零球面像差的 IOL：这类 IOL 不改变角膜及眼球固有的球面像差，因而不能弥补角膜的正球差，但保持了良好的焦深，避免了偏位倾斜造成光学性能下降的风险。常见的有 Sof-PortAo、AkreosAo 等。我们研究中所使用的 AIOL 是 Acrysof SN60WF（IQ），它为负球面像差设计，其球差为 -0.20 $\mu$ m，角膜的平均球差为 +0.27 $\mu$ m，植入人眼后理论上会保留人眼少量的正性球差。

波前像差是评价 AIOL 功能的重要指标。愈来愈多的研究表明，年龄、像差和视功能三者之间关系密切。波前像差是 IOL 眼和正常眼之间及不同 IOL 之间成像质量差异的重要指标。人眼晶状体与 IOL 的波前像差是不同的，IOL 眼总波前像差、分阶波前像差均明显增高，这可以合理解释 IOL 眼出现眩光、暗视力差、视物变形等问题<sup>[8,9]</sup>。植入传统的球面 IOL 后，人眼的像差尤其是球面像差增加，引起视觉质量下降<sup>[8]</sup>。Kuroda 等<sup>[11]</sup>认为白内障摘出术后人眼的高阶像差明显增大，其中球差变化最为明显，这可能是导致白内障摘出术后术眼出现夜视力差、眩光等视觉症状的主要原因之一。Mester 等<sup>[12]</sup>对白内障患者双眼分别植入相同

材料的非球面设计的 IOL 和常规设计的球面 IOL，术后 3 个月显示非球面设计的 IOL 比常规 IOL 产生的球差小得多。

目前对于 AIOL 的研究正方兴未艾。Wenner 等<sup>[12]</sup>对模型眼研究认为 AIOL 产生的球面像差比球面 IOL 产生的像差明显减小，达到改善视觉功能的目的。Tecnis z9000 非球面 IOL 通过计算 71 例白内障患者的角膜的平均正球差，是第一个产生负球差弥补部分角膜正球差的人工晶状体。Franchini 等<sup>[13]</sup>对四种 AIOL（Tecnis、IQ、KS-3Ai、SofPort IOL）的球差色像差平衡以及焦深进行比较，结果显示 Tecnis 在黄色蓝色波时较其他三种具有较好的 MTF，KS-3Ai 在红色波时较其他有较好的对比敏感度。Tecnis 具有较好的焦深，IQ IOL 有高亮度但较小的焦深。SofPort 和 KS-3Ai 有较低的亮度阈值。许多研究发现 AIOL 的确能够降低球差或高阶像差，尤其在瞳孔较大时，能够提高在某些空间频率的对比敏感度，尤其提高暗光的对比敏感度及低对比度视力。Deepak 等对于 AcrySof SA60AT IOL (40 eyes), AcrySofNatural SN60AT IOL (40 eyes), 及 AcrySof IQSN60WF IOL (40 eyes)的对比研究表明：AcrySof IQ AIOL 在各个空间频率上的对比敏感度明显好于另外两种 IOL。绝大多数研究表明 AIOL 较传统的球面 IOL 的确能够不同程度的减小白内障术后人工晶状体眼的球面像差，改善功能性视力。

我们研究使用的 AcrySofSN60WFIOL（IQ）的光学部材料为丙烯酸异丁烯酸聚合物，光学部直径 6.0 mm，屈光指数 1.55，它与 AcrySof SN60AT IOL(Natural)在材质上完全一样，仅在光学面设计上不同。IQ IOL 是在分析了 700 余例正常人眼角膜的球差后，在 Natural IOL 的基础上设计出来的，具备蓝光滤过作用。其独特之处为其光学部后表面为非球面设计，这能使经过其边缘的光线发生反折并与轴旁光线汇聚，从而使视网膜呈现清晰的像。我们的研究表明：AIOL 组与球面 IOL 组间在术后 UCVA 和 BCVA 上无显著差别；术后 3 个月时 AIOL 组 Z40 RMS 及 RMS<sub>h</sub> 低于球面 IOL 组，AIOL 组眩光、光晕、暗适应差等不舒适发生率较低，满意率高，这与大部分研究结果相似。

瞳孔增大时人眼球差增加，这是因为当光线通过透镜时，由于周边部的屈光力较中央部强，周边部的光较中央部形成焦点早，而形成球差。在正常瞳孔大小时，周边部的光线大部分被虹膜遮挡，因此球差不明显，加之晶状体中央部密度和弯曲度均较大，角膜周边部较平，均可使球差减少。当瞳孔散大时，进入眼内的光线增加，而使球差增加。最近的研究表明，非球面 IOL 消除像差的功能与瞳孔的直径密切相关：当瞳孔直



径在 3.0~6.0mm 之间时,非球面 IOL 可明显降低 Z04 和第四阶像差的均方根;但当瞳孔直径为 6.0 mm 时,非球面 IOL 只能降低高阶像差的均方根<sup>[14]</sup>。我们的研究表明无论在 3mm 还是 6mm 直径瞳孔条件下,AIOL 组 Z40 RMS 明显小于球面 IOL 组 ( $P<0.05$ ),这与大部分研究结果类似。但我们没有观察到两组间 RMS<sub>h</sub> 有显著性差异 ( $P>0.05$ )。我们的研究中 AIOL 组有 6 例有夜间驾驶经历,诉感觉舒适者 5 例,球面 IOL 组有 5 例有夜间驾驶经历,仅有 1 例诉夜间驾驶舒适。这表明较大的瞳孔条件下更有利于 AIOL 发挥优势。

AIOL 发挥其成像质量优势除与瞳孔大小有关外,还受以下因素影响 (1) 视网膜黄斑神经节细胞功能:由于功能性视力不仅受到屈光系统的影响,还主要依靠眼底视网膜及黄斑的功能,年龄因素影响的视网膜神经节细胞功能的衰退,可能会使一部分高龄患者对于球差的变化不敏感。(2) IOL 位置的影响:Holaday 通过对 Tecnis z9000 的研究表明它必须放在倾斜小于 7 度,中心偏位小于 0.4mm 的范围内,如超出此范围,植入 AIOL 眼的高阶像差增大,降低成像质量<sup>[15]</sup>。有研究表明,AIOL 偏位产生彗差,瞳孔为 4mm 时偏位程度不能超过 0.27mm,瞳孔为 6mm 时偏位不能超过 0.37mm。同时应当注意的是:AIOL 补偿的仅仅是角膜的球差,即使 AIOL 完全准确居中,仍有一部分像差未得到矫正,加之偏中心导致的彗差增加,使 AIOL 应用存在局限性。我们的研究中 AIOL 组有 2 例患者术后抱怨视物模糊,不太满意,经 UBM 证实为 IOL 光学部轻度偏移,增加了像差所导致。

有一部分试验表明 AIOL 虽然能够减小球面像差,但其对比敏感度却没有明显的差别,未发现在提高视觉功能上较普通球面有明显的优势。Munoz G、Kasper<sup>[16]</sup>对于 AIOL Tecnis z9000 的研究显示其球差较对照组明显降低,但是代表视觉质量的视力及对比敏感度及眩光敏感度两者无统计学差别。Kurzs<sup>[17]</sup>等对于 Acr.i Smart 36A 非球面 IOL 与 Acr.i Smart 46 S 球面 IOL 研究发现两者瞳孔为 4.5mm 的球差上显示 AIOL 明显低于球面组,结果有统计学意义;但是在最佳矫正视力以及低中间视力对比敏感度(73 cpd 非球面组 84 cpd 球面组)没有统计学差异;在高中间视力下(80cpd 非球面组 83 cpd 球面组)仍无差别。

因此,AIOL 作为一项新技术,还需在临床应用中进行深入研究。作为一种新型的 IOL,AIOL 在临床应用过程中也必然存在一定的问题:(1) 目前市上所有的 AIOL 是根据大多数人的角膜像差而设计的,大约有 5%~7% 的白内障患者由于先天因素或先前接受过角膜光手术,其角膜不

具备与一般人群一样的正球面像差，因此这类人群应选择具有特殊球差值的 AIOL。(2)许多关于 AIOL 研究结果均是在 IOL 处于没有偏心和任何倾斜的基础上得出的，因此植入这类 IOL 对术者的手术技巧提出了更高的要求，术中应注意标准的居中的连续环行撕囊，尽量避免 IOL 的偏心和倾斜。此外对于这类本身具有球面像差 IOL，到底 IOL 偏距离应为多少，人眼的视功能就会受到影响，三者之间的定量关系如何，至今仍然缺乏一个公认的准确指标。(3)视网膜神经节细胞会随着年龄的增长而逐渐减少，视功能的改善将受到黄斑功能的制约<sup>[18]</sup>，因此老年性白内障患者实际上能够感知到的 AIOL 所带给他的视功能的改善也有一定限度。

总之，作为一种新技术，AIOL 尽管还存在着一些问题，但作为波前像差技术与晶状体手术技术的有机结合，AIOL 推动提高白内障患者视功能的研究向前迈出了一步。像差如同指纹一样具有个体化的特征，依据患者的角膜像差情况以及患者对视觉质量的特殊要求计算更精确的像差值，量身定做更匹配的 IOL，才能实现白内障手术观念的转变，使白内障手术真正成为个性化屈光性手术。

## 结论

AIOL 可以通过降低 IOL 眼的球差，来提高视功能，对于瞳孔偏大的人群及暗环境尤为适宜。AIOL 功能的正常发挥有赖于良好的手术技术、IOL 的居中性及良好的视网膜视神经功能。

## 参考文献

- 1 Vilarrodona L, Baarrett GD, Johnson B. Higher order aberrations in pseudophakia with different intraocular lenses. J Cataract Refract Surg 2004; 30: 571-575
- 2 Kuroda P, Fujikado P, Maeda N, et al. Wave front analysis of higher order aberrations in patients with cataract. J Cataract Refract Surg 2002; 28: 438-444
- 3 Barbero S, Marcos S, Jesús Merayo-Llodes J. Corneal and total optical aberrations in a unilateral aphakic patient. J Cataract Refract Surg, 2002, 28: 1594-1600.
- 4 Glasser A, Campbell MCW. Presbyopia and the optical changes in the human crystalline lens with age. Vision Res, 1998, 38: 209-229
- 5 Artal P, Berrio E, Guirao A, et al. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. J Opt Soc A Opt Image Sci Vis, 2002, 19: 137-143.
- 6 Artal P, Guirao A, Berrio E, et al. Compensation of corneal aberration by the internal optics in human eye. J Vision, 2001, 1: 108
- 7 Atchison DA. Design of aspheric intraocular lenses. Ophthalmic Physiol Optics, 1991, 11: 137-146
- 8 Vilarrodona L, Barrett GD, Johnson B. High-order in pseudophakia with different intraocular lenses. J Cataract Refract Surg, 2004; 30(3): 571-575.
- 9 Miller JM, Anwaruddin R, Straub J, et al. Higher order aberrations in normal, dilated, intraocular lens, and laser in situ keratomileusis corneas. J Refract Surg, 2002; 18(5): S579-583.
- 10 Kuroda T, Fujikado T, Maeda N, Oshika T, Hirohara Y, Mihashi T. Wavefront analysis of higher order aberrations in patients with cataract [J]. J Cataract Refract Surg 2002; 28 (3): 438-444.
- 11 Mester U, Dillinger P, Anterist N. Impact of a modified optic design on visual function: Clinical comparative study [J]. J Cataract Refract Surg 2003; 29(4): 652-660.
- 12 Werner W, Roth EH. Image properties of spherical as aspheric intraocular lenses I [J]. Klin Monatsbl Augenheilkd, 1999, 214(4) : 246-250.
- 13 Alessandro Franchini. Compromise between spherical and chromatic aberration and depth of focus in aspheric intraocular lenses [J]. J Cataract & Refractive Surgery, 2007, 33(4) : 497-509.
- 14 Kasper T, Bühren J, Kohnen T. Intraindividual comparison of higher-order

aberrations after implantation of aspherical and spherical intraocular lenses as a function

of pupil diameter. J Cataract Refract Surg, 2006; 32(1): 78-84.

15 Holladay JT, Piers PA, Kozanyi G, Mooren M, Norrby N. A new intraocular lens designed to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes[J]. J Refract Surg 2002; 18(6): 683-691.

16 Sabine Kurz, Frank Krummenauer, Hagen Thieme, et al. Contrast sensitivity after implantation of a spherical versus an aspherical intraocular lens in biaxial microincision cataract surgery[J]. J Cataract & Refractive Surgery, 2007, 33(3) : 393-400.

17 Dietze HH, Cox MJ. Limitations of correcting spherical aberration with aspheric intraocular lenses[J]. J Refract Surg, 2005, 21(5): 541-546.

18 Kaplan E, Shapley RM. The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity[J]. Proc Natl Acad Sci USA 1986; 83(8): 2755-2757.