

文章编号:1004-4213(2011)06-0865-7

二次曲面前房型有晶体眼人工晶体的球差矫正特性分析

赵星¹,张美慧^{1,2},方志良¹

(1 南开大学 现代光学研究所;光电信息技术科学教育部重点实验室,天津 300071)

(2 天津理工大学,天津 300191)

摘 要:为探究二次曲面前房型有晶体眼人工晶体的球差矫正特性,进行了球面和二次曲面有晶体眼人工晶体的设计,并利用像差理论对二者的球差矫正特性进行了研究.基于 R. Navarro 等人提出的模型眼得到屈光不正眼模型,利用 ZEMAX 光学软件分别设计了可矫正屈光不正人眼的球面与二次曲面前房型有晶体眼人工晶体.通过对光学传递函数和 Zernike 球差系数的比较,以及对 Seidel 球差分布系数的计算分析发现:在保证屈光不正矫正至正常水平的前提下,较之传统球面人工晶体,二次曲面的引入仅对远视眼的球差有矫正作用,并使光学传递函数显著改善;而对近视眼而言,二次曲面人工晶体的球差矫正效果与球面人工晶体相当.这一结论对前房型有晶体眼人工晶体的设计和应用具有重要的理论指导意义.

关键词:视觉光学;非球面有晶体眼人工晶体;光学传递函数;泽尼克球差;塞得球差

中图分类号: O439;O435;R776

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20114006.0865

0 引言

近年来一种名为“有晶体眼的人工晶体(Phakic Intraocular Lens, PIOL)植入术”的新型矫正屈光不正的方法已在国内外得到广泛应用^[1]. PIOL 主要用于矫正中高度的近视和远视,它的特点是在不摘除任何人眼组织的前提下植入人工晶体,相当于内置眼镜,因而保留了调节功能且操作可逆.特别是前房植入型 PIOL,与虹膜型和后房型型晶体相比,具有损伤小、准确度高等优点,成为获得普遍应用的一类 PIOL^[2].

目前,前房型 PIOL 多为球面面形,主要考虑的都是校正离焦,也有一些产品使用环状表面来校正伴随散光的屈光不正眼,通过改变表面的曲率半径来得到不同的屈光度数.对照治疗白内障所使用普通人工晶状体(Intraocular Lens, IOL)的发展历程,未来前房型 PIOL 将会逐步引入二次曲面的面形设计,使其在屈光矫正的基础上逐步具备球差矫正功能,以便与 LASIK、PRK 等手段共同作为现代屈光

矫正方法^[2-3].众所周知,一般光学系统中引入非球面后将对球差有一定的矫正作用,而在前房型 PIOL 中引入二次曲面后能否获得较好的球差矫正效果尚未得到相关研究人员的关注,国内外相关的研究报告也很少.本文将通过二次曲面前房型 PIOL 的设计以及对设计结果球差特性的详细分析,对这一问题进行探讨和研究.

1 二次曲面前房型 PIOL 的设计

1.1 人眼模型

本文选用的是 R. Navarro 等人提出的眼模型^[4],它是由四个旋转对称的同心二次曲面构成的,每个表面用曲率半径和非球面系数两个参量来定义^[5],其中自然晶状体使用一个等效折射率来代替梯度折射率结构,具体参量见表 1. Lotmar、El Hage 和 Berny 的研究表明^[4,6-7],这种简化的结构虽然不是精确地符合生理解剖学,却能用来很好地预测轴向球差,并且可以使光线追迹变得简单.由于本设计采用的是 0°和 5°小视场单色光照明分析 PIOL 的球

基金项目:光电信息技术科学教育部重点实验室开放课题(No. 2007KFKT029)、教育部高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20100031120033)和中央高校基本科研业务费专项资金资助

第一作者:赵星(1980-),男,讲师,博士,主要研究方向为光学系统设计、三维成像与显示及微光学. Email: zhaoxingtjnk@nankai.edu.cn

收稿日期:2010-12-27;修回日期:2011-03-09

表 1 Navarro 正常眼模型的结构参量
Table 1 Structural parameters of the Navarro model eye

Surfaces	Radius/ mm	Aspherical coefficient	Thickness/ mm	Refractive index
Anterior corneal surface	7.72	-0.26	0.55	1.376
Posterior corneal surface	6.5	0	3.05	1.337 4
Anterior lens surface (pupil)	10.2	-3.131 6	4	1.42
Posterior lens surface	-6	-1	16.4	1.336
Retina	-12.3	0	16.27	

差矫正效果,因此选用该模型较为合适.

大量临床数据显示,人眼的屈光不正度与眼轴长度(主要是玻璃体腔长)密切相关,而屈光不正度与前房深度的相关性较小^[8-9],因此本设计中将通过改变眼轴长度获得不同的屈光不正度.此外 PIOL 前房植入术要求术眼的前房后深度至少为 2.8 mm^[10],结合临床数据综合考虑后,在本设计中将远视眼的前房深度统一设为 2.8 mm,其余参量均取自上述眼模型.

1.2 设计方法及结果

前房型 PIOL 是将人工晶体置于角膜与虹膜之间,它相对于后房型晶体而言,不会对自然晶状体造成摩擦损伤.采用 Van der Heijde 提出的前房型人工晶体屈光度计算公式^[11]

$$P = \frac{n}{K + P_s} - d \frac{n}{K} - d$$

$$P_s = \frac{D_g}{1 - VD_g} \quad (1)$$

可以得到 PIOL 屈光度的理论值,式中 n 是房水折射率, d 是晶体的植入位置(人工晶体距角膜后表面的距离), P_s 是角膜顶点平面处的矫正屈光度, K 是角膜的平均屈光力(临床通常取为 +43D), D_g 是屈光不正眼需佩戴的眼镜度数, V 是眼镜平面距角膜前表面的距离.

本设计选用的是 ZEMAX 光学设计软件:首先在屈光不正眼前加普通框架眼镜加以矫正,使物点发出的光精确会聚到视网膜上从而清晰成像,这样可以得到屈光不正眼的玻璃体腔长 L ,它是区分不同屈光不正度人眼的特征参量,即一个固定的 L 对应一个确定屈光不正度数的人眼(见图 1);然后去掉眼镜,在前房植入合适屈光度(利用式(1)计算得到)的 PIOL,在保证晶体屈光度和眼轴长度不变的

前提下优化 PIOL 的面形参量,同样使物点在视网膜上清晰成像(见图 2),即可得到 PIOL 的设计结果.其中在球面和二次曲面 PIOL 的优化设计中,除基本的面形和像质约束外,还对泽尼克球差系数以及系统几何球差设置了相同的优化约束条件,以确保二者的设计结果具有可比性.

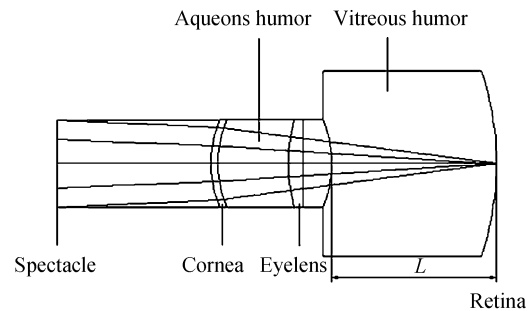


图 1 眼镜校正屈光不正原理
Fig. 1 Spectacle correction of ametropia

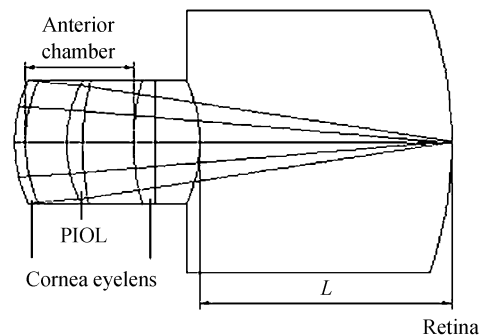


图 2 PIOL 矫正屈光不正原理
Fig. 2 PIOL correction of ametropia

由于 PIOL 主要用于治疗中高度的近视和远视,所以将屈光不正眼的度数(以下均以术前等效球镜度数代表人眼的屈光不正度)范围设计为: -10D ~ -22D(近视), +2D ~ +10D(远视,高于 +6D 的已很少见).人工晶体材料采用广泛使用的聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA, $n = 1.49$),厚度取为 0.6 mm,位于自然晶状体前 1.1 mm 处,设计波长为 550 nm 单色光,考虑到大瞳孔条件下人眼的球差矫正更有临床意义,所以选取瞳孔直径为 6 mm.又考虑到人眼视轴与光轴间存在约 $4^\circ \sim 5^\circ$ 的夹角,且视轴方向上的成像及像差分析对临床矫正更具有参考价值,因此取 0° 视场角和 5° 视场角来分析比较 PIOL 在光轴和视轴方向上的球差矫正效果.

尽管普通透镜可以有双凸、平凸和凸凹等不同的结构形式,但考虑到前房型 PIOL 特殊的植入位置,参照现有一般前房型 IOL 产品的经验,将 PIOL 设计为凸凹型结构可以避免它的中心位置与前后生理结构不必要的摩擦损伤,而为避免凸凹型 PIOL

边缘可能与其后面的晶体组织所产生的摩擦,在设计过程中对 PIOL 表面边缘与前后组织的间距设定为大于 0.5 mm,这样的设置同时兼顾了实际制造工艺中对 PIOL 边缘的处理.考虑到实际的制造工艺难度,仅在 PIOL 的一个表面引入二次曲面系数,由于通常大曲率表面的球差对非球面系数更为敏感,所以本设计中分别将矫正远视眼的 PIOL 前表面和矫正近视眼的 PIOL 后表面设为二次曲面.

图 3 和图 4 分别是远视和近视情况下,设计得

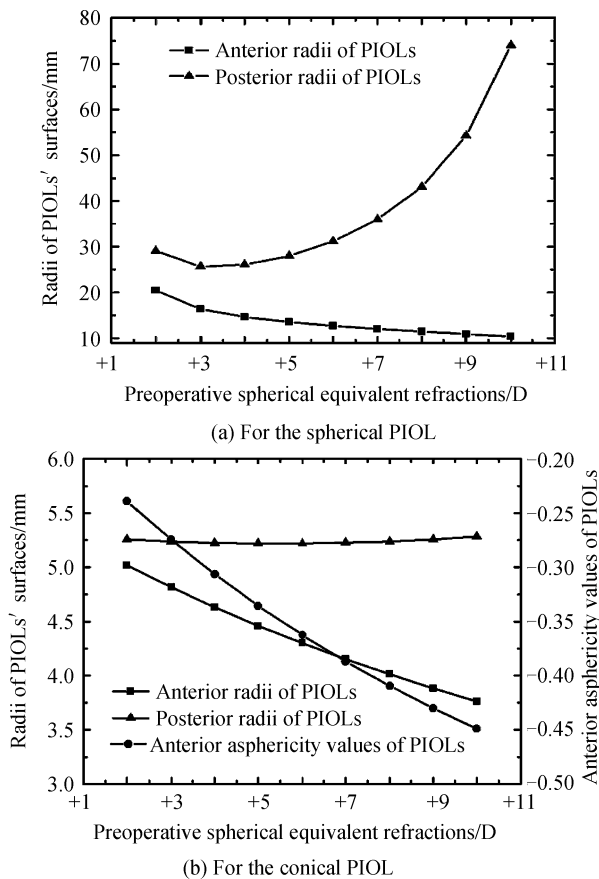
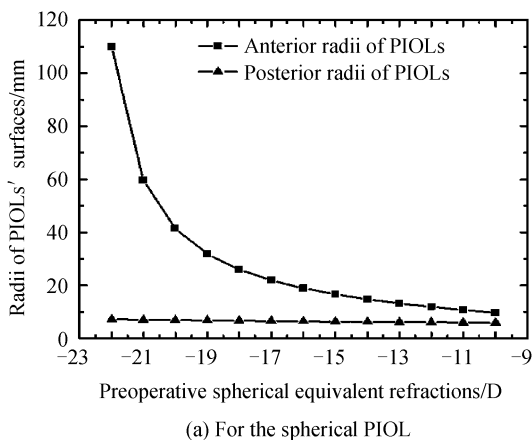
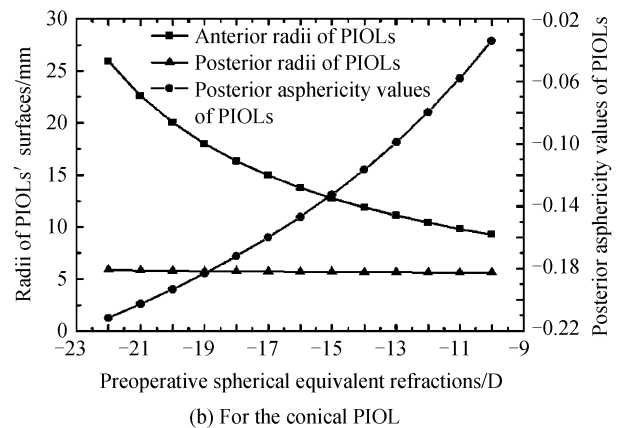


图 3 远视眼 PIOL 的面形参量

Fig. 3 The parameters of PIOLs with different powers for hyperopia



(a) For the spherical PIOL



(b) For the conical PIOL

图 4 近视眼 PIOL 的面形参量

Fig. 4 The parameters of PIOLs with different powers for myopia

到的不同屈光度人眼需植入的球面和二次曲面 PIOL 的面形参量.其中图 3(b)中的远视眼 PIOL 设计结果,虽然其前后表面的曲率较大,但所有设计结果中 PIOL 后表面边缘距离晶状体前表面的最小距离均大于 0.52 mm 以上,满足上述设计要求.

2 分析和讨论

本文分别从光学传递函数 (Modulation Transfer Function, MTF)、泽尼克球差系数和塞得球差分布系数三个方面对设计结果进行分析.

图 5(a)~(d)分别以 +6D 远视眼和 -16D 近视眼为例,比较说明植入球面与二次曲面前房型 PIOL 前后人眼在 0° (光轴)和 5° 视场角 (视轴)的 MTF 变化.在图 5(a)和 (b)所示的远视眼 MTF 曲线中,未加晶体校正时(实线)MTF 幅值普遍很低且在较低频率就开始截止,植入球面 PIOL(虚线)后 MTF 在整个频率范围内明显上升,截至频率也大大提高;植入二次曲面 PIOL(点线)可使 MTF 进一步改善.而在图 5(c)和 (d)所示的近视眼 MTF 曲线中,植入球面和二次曲面 PIOL 后,系统 MTF 均显著增高,但与球面 PIOL 相比,二次曲面 PIOL 对 MTF 的改善程度较小.其他屈光不正度的比较结果与此相似,受篇幅限制,在此未全部给出. MTF 的分析结果表明,球面和二次曲面前房型 PIOL 对近视眼和远视眼均能获得很好的屈光矫正效果,但仅在远视眼的球差矫正中,二次曲面 PIOL 较球面 PIOL 可获得更好的矫正效果;在近视眼的球差矫正中,二次曲面 PIOL 并未显现明显优势.

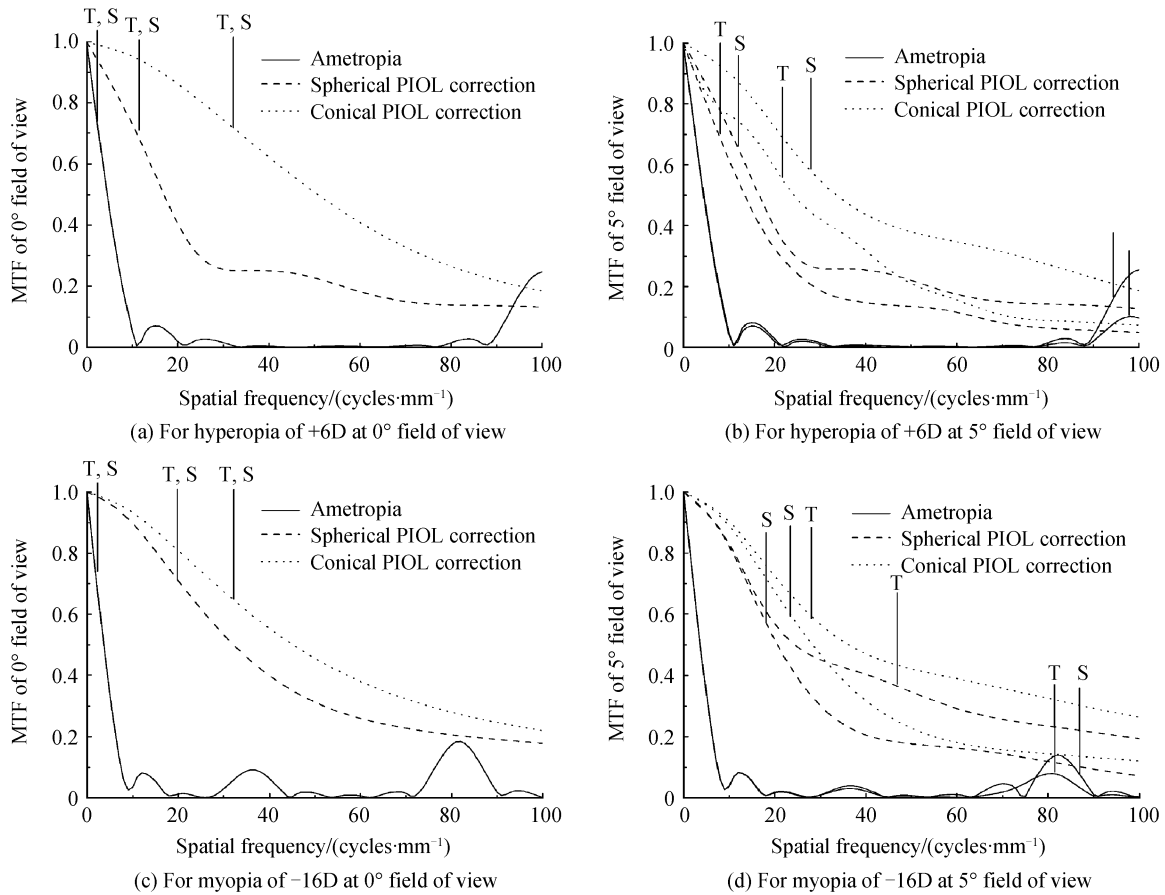
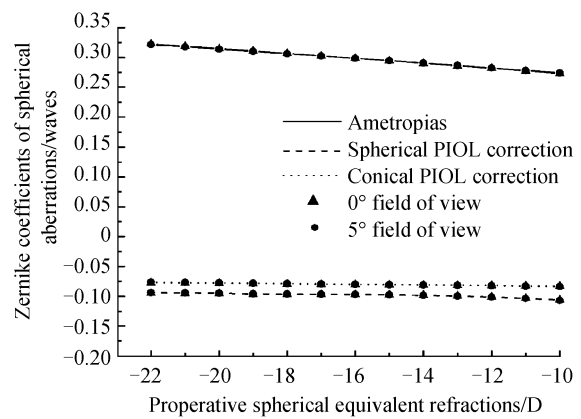


图 5 屈光不正眼植入球面和二次曲面 PIOL 前后的 MTF 曲线

Fig. 5 MTF of implantation of spherical and conical PIOLs for ametropia

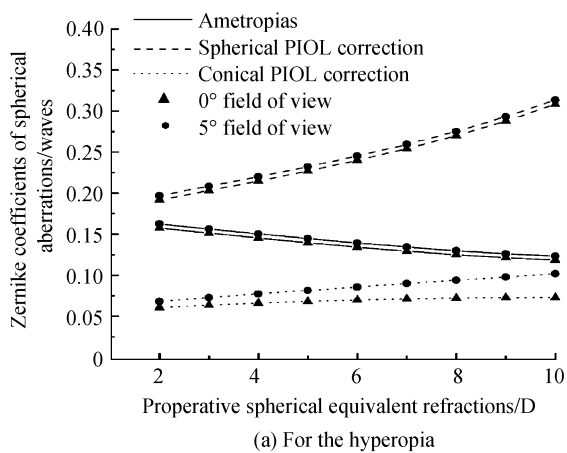
由于在本设计中采用小视场照明,所以在已校正离焦的情况下球差为主要像差.与一般光学系统的几何像差不同,在视光学中描述眼睛像差主要采用的是出瞳处的波前像差,眼睛的波前像差主要用泽尼克多项式展开,由各项系数最终确定眼睛像差,其中系数 Z_4^0 代表球差系数,是人眼除离焦外的主要轴上像差,临床上常以此作为衡量人眼轴上点成像质量的一项重要指标.因此本文将使用泽尼克球差系数对系统进行评价.图 6 给出的是各个屈光不正度人眼植入球面、二次曲面前房型 PIOL 前后不同视场条件下的泽尼克球差系数对比曲线,可以看出



(b) For the myopia

图 6 不同屈光不正情况下植入球面和二次曲面 PIOL 后泽尼克球差系数的变化曲线

Fig. 6 The variation of Zernike spherical aberration coefficient after implantation of spherical and aspherical PIOL for different ametropia



(a) For the hyperopia

远视眼中植入球面 PIOL 后将增大泽尼克球差系数,植入二次曲面 PIOL 可减小泽尼克球差系数.而近视眼中植入球面或二次曲面 PIOL 后泽尼克球差系数绝对值均减小至相近水平,因此从泽尼克球差的矫正来看,二次曲面前房型 PIOL 可更好的校正远视眼的球差,但在近视眼泽尼克球差矫正中并无明显优势.

上述 MTF 和泽尼克球差的比较分析虽然从系统角度反应了植入球面和二次曲面前房型 PIOL 后人眼像质和球差的整体变化,但无法定量给出系统中各个表面对系统球差的贡献,也无法真正说明 PIOL 引入二次曲面后对系统球差的矫正作用.为了从定量计算的角度进一步明确二次曲面 PIOL 在球差矫正过程中的作用,本文将利用塞得球差系数进行深入的分析^[12-13].

Lotmar、El Hage 和 Berny 早期的研究表明,考虑角膜及自然晶状体的非球面性,并对自然晶状体采用一个有效折射率值即可准确预测轴向球差.在本设计中采用的是小视场单色光照明,主要像差即为球差,因此完全可以用前文基于 R. Navarro 眼模型设计的 PIOL 结果来进行塞得球差定量分析^[14].

塞得像差(又称初级像差)是共轴光学系统的主要像差,而且各个折射面的塞得像差分布系数表明了每个折射面对光学系统像差贡献的大小,其中光学系统的塞得球差可以用各表面的塞得球差分布系数表示为

$$\delta L' = -\frac{1}{2n_k u_k'} \sum_1^k S_l \quad (2)$$

式中 $\delta L'$ 为系统的塞得球差, n_k' 和 u_k' 分别为像方折射率和孔径角, S_l 为各表面的塞得球差分布系数, k 为系统中的表面数, $\sum_1^k S_l$ 为系统的塞得球差系数.由前文设计结果可得到屈光不正眼植入球面和非球面前房型 PIOL 前后各表面的塞得球差分布系数以及整个系统的塞得球差系数,进而可对每一表面在球差矫正中的作用进行详细分析.表 2 和表 3 分别

表 2 +6D 远视眼各表面植入 PIOL 前后塞得球差分布系数 $(S_l)_k$ 及系统塞得球差系数 $\sum S_l$ (mm)

Table 2 The seidel spherical aberration distribution coefficients of each ocular refracting surface $(S_l)_k$ and the total $\sum S_l$ for hyperopia of +6D (mm)

Surfaces	Pre-implantation	Spherical PIOL implanted	Conical PIOL implanted
Anterior corneal surface $(S_l)_1$	0.017 750	0.017 750	0.017 750
Posterior corneal surface $(S_l)_2$	-0.003 506	-0.003 506	-0.003 506
Anterior surface of PIOL $(S_l)_3$	---	0.000 576	0.040 054
Posterior surface of PIOL $(S_l)_4$	---	0.000 675	-0.053 981
Anterior lens surface $(S_l)_5$	-0.012 087	-0.011 694	-0.010 938
Posterior lens surface $(S_l)_6$	0.018 66	0.020 487	0.019 467
$\sum S_l$	0.020 817	0.024 289	0.008 846

表 3 -16D 远视眼各表面植入 PIOL 前后塞得球差分布系数 $(S_l)_k$ 及系统塞得球差系数 $\sum S_l$ (mm)

Table 3 The seidel spherical aberration distribution coefficients of each ocular refracting surface $(S_l)_k$ and the total $\sum S_l$ for hyperopia of -16D (mm)

Surfaces	Pre-implantation	Spherical PIOL implanted	Conical PIOL implanted
Anterior corneal surface $(S_l)_1$	0.017 750	0.017 750	0.017 750
Posterior corneal surface $(S_l)_2$	-0.003 506	-0.003 506	-0.003 506
Anterior surface of PIOL $(S_l)_3$	---	0.000 369	-0.000 038
Posterior surface of PIOL $(S_l)_4$	---	-0.024 981	-0.024 665
Anterior lens surface $(S_l)_5$	-0.011 671	-0.011 480	-0.011 539
Posterior lens surface $(S_l)_6$	0.018 094	0.014 974	0.015 035
$\sum S_l$	0.020 668	-0.006 874	-0.006 962

是屈光不正度为 +6D 和 -16D 时的结果,其他屈光不正度的计算分析均可得到同样结果,此处不再赘述.

由表 2 可以看出,在远视情况下,若保证离焦矫正至正常水平,前房中植入的球面 PIOL 虽然本身产生的球差分布系数 $[(S_l)_3 + (S_l)_4]$ 值非常小,却会使其后面的自然晶状体产生的球差分布系数 $[(S_l)_5 + (S_l)_6]$ 变大,因而整个人眼较之植入前球差略有增大;而在同一位置若植入二次曲面 PIOL,虽然它也使自然晶状体产生较大的球差分布系数变化,但与球面 PIOL 不同的是,它自身获得了几乎与其余组织(角膜和自然晶状体)等值异号的球差分布系数,从而较大程度减小了系统的球差值,这表明在利用前房型 PIOL 矫正远视时二次曲面的引入确实可以使人眼的球差获得矫正,从而得到更好的成像质量.

在近视情况下,如表 3,在离焦矫正至正常水平时,植入球面或二次曲面前房型 PIOL 均使其后面的自然晶状体的球差分布系数减小,同时自身均获得了几乎与其余各表面球差分布系数之和等值异号的球差分布系数,从而较大程度的减小了系统的球差,这表明在利用前房型 PIOL 矫正近视时球面和二次曲面均使人眼的球差获得程度相同的矫正,二次曲面的引入并未带来球差矫正上的明显优势.

需要说明的是,根据式(2)可知,塞得球差与塞得球差分布系数异号,由表 2 和表 3 中的数据虽然可以直观看出,远视眼植入的正光焦度 PIOL 产生了负的塞得球差,近视眼植入的负光焦度 PIOL 产生了正的塞得球差,但二者对人眼球差的矫正效果,

不能简单理解为 PIOL 的球差与原屈光不正眼的球差简单叠加后,增大或补偿了系统的球差.而应注意到 PIOL 的植入,对自然晶状体的球差产生了影响,系统球差的矫正程度,是 PIOL 本身引入的球差,与原角膜球差及自然晶状体变化后的球差共同作用的结果.

3 结论

本文在 R. Navarro 眼模型的基础上进行了球面和二次曲面前房型 PIOL 的设计,以实现屈光不正人眼的矫正.基于设计结果,通过对球面和二次曲面前房型 PIOL 植入前后人眼 MTF 和泽尼克球差系数的比较,以及对各表面塞得球差系数的计算分析表明,球面和二次曲面前房型 PIOL 均能矫正人眼的离焦,但在离焦矫正至正常水平的情况下,并非所有的 PIOL 引入二次曲面都有利于球差的矫正.在远视眼中植入前房型 PIOL 时,与传统球面晶体相比,选择前表面为二次曲面的面形可以在矫正屈光不正的基础上进一步矫正球差,主要体现为系统的泽尼克球差系数和塞得球差系数都显著减小,MTF 大幅度提高,可得到更为完善的成像质量.而在近视眼中选择植入二次曲面前房型 PIOL,与传统球面 PIOL 相比,二次曲面的引入并未带来球差和成像质量方面更大幅度的改善.

由此可见,二次曲面前房型有晶体眼人工晶体对球差矫正的优势仅体现在矫正远视眼的情况,因此在矫正远视时,可选择应用二次曲面前房型 PIOL 以获得更好的矫正效果,而当矫正近视时,选择应用球面前房型 PIOL 即可满足基本的视觉矫正要求,如需获得更好的球差矫正效果,宜考虑在 PIOL 设计中引入更为复杂的非球面面形.这一结果对未来前房型 PIOL 的发展和具有重要的理论指导意义.

参考文献

- [1] MU Zhang-bing, DU Zhi-yu. Research advance of phakic intraocular lens implantation [J]. *Recent Advances in Ophthalmology*, 2005, **25**(1): 90-92.
牟章兵, 杜之渝. 有晶状体眼人工晶状体植入术研究进展[J]. 眼科新进展, 2005, **25**(1): 90-92.
- [2] MORRIS G M, NORDAN L T. Phakic intraocular lenses: The new focus in refractive surgery[J]. *Optics and Photonics News*, 2004, **15**(9): 26-31.
- [3] RAO Feng, WANG Zhaoqi, WANG Yan, et al. Construction of eye model and intraocular lens design after corneal refractive surgery[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(7): 1806-1810.
饶丰, 王肇圻, 王雁等. 角膜手术后眼模型的构建和人工晶状体设计[J]. 光子学报, 2009, **38**(7): 1806-1810.
- [4] NAVARRO R, SANTAMARÍA J, BESCÓS J. Accommodation-dependent model of the human eye with aspherics[J]. *JOSA A*, 1985, **2**(8): 1273-1281.
- [5] ZHAO Qiu-ling, WANG Zhao-qi, ZHANG Chun-shu. The actions of aspheric surfaces and gradient-index on optical image of the eye[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(11): 1409-1412.
赵秋玲, 王肇圻, 张春书. 非球面和梯度折射率在眼光学成像中的作用[J]. 光子学报, 2002, **31**(11): 1409-1412.
- [6] LOTMAR W. Theoretical eye model with aspherics [J]. *JOSA*, 1971, **61**(11): 1522-1529.
- [7] HAGE S E, BERNY F. Contribution of the crystalline lens to the spherical aberration of the eye[J]. *JOSA*, 1973, **63**(2): 205-211.
- [8] LIN Lin, SONG Zong-ming, YOU Yi-an. A study on the correlation between eyeball axial length and diopter in eyes with myopia [J]. *Zhejiang Journal of Clinical Medicine*, 2007, **9**(2): 173-174.
林琳, 宋宗明, 游逸安. 近视屈光度与眼轴长度的相关性分析[J]. 浙江临床医学, 2007, **9**(2): 173-174.
- [9] ZHOU Hai-song, CHAI Yu-ming, ZHAO An-li, et al. Correlative analysis of optic axis length and corneal refractive power, myopic degree[J]. *Mod Diagn Treat*, 2003, **14**(4): 224-225.
周海松, 柴玉明, 赵安利, 等. 眼轴长度与角膜屈光力、近视度的相关性分析[J]. 现代诊断与治疗, 2003, **14**(4): 224-225.
- [10] ZHONG Yan, LI Ping-hua. Research advance of phakic intraocular lens design models [J]. *Chin J Pract Ophthalmol*, 2006, **24**(8): 771-774.
钟焱, 李平华. 有晶状体眼人工晶状体模型设计的研究进展[J]. 中国实用眼科杂志, 2006, **24**(8): 771-774.
- [11] ALIÓ J L, de la HOZ F, PÉREZ-SANTONJA J J, et al. Phakic anterior chamber lenses for the correction of myopia: A 7-year cumulative analysis of complications in 263 cases [J]. *Ophthalmology*, 1999, **106**(3): 458-466.
- [12] WANG Zhao-qi, ZHANG Mei, WANG Yan, et al. Variation of transverse chromatic aberration with displacement of artificial stop and eccentricity based on individual eye model [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, **18**(2): 281-288.
王肇圻, 张梅, 王雁, 等. 个体眼模型的横向色差随外置光阑偏心 and 视场的变化[J]. 光学精密工程, 2010, **18**(2): 281-288.
- [13] LIU Yong-ji, FANG Zhi-liang, WANG Zhao-qi. A study on eye's optical characters with anatomically accurate shell-lens [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(1): 136-140.
刘永基, 方志良, 王肇圻. 具有层状晶状体的人眼模型的光学性质[J]. 光学学报, 2005, **25**(1): 136-140.
- [14] LIU Yong-ji, WANG Zhao-qi, FANG Zhi-liang, et al. The contributions of each refractive surface of the human model eye to the aberrations[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(10): 1554-1556.
刘永基, 王肇圻, 方志良, 等. 人眼模型中各折射面对人眼像差的贡献[J]. 光子学报, 2005, **34**(10): 1554-1556.

Title Analysis of the Spherical Aberration Correction with Conical Anterior Chamber Phakic Intraocular Lens

ZHAO Xing¹, ZHANG Mei-hui^{1,2}, FANG Zhi-liang¹

(1 *Institute of Modern Optics; Key Laboratory of Opto-electronic Information Science and Technology, (Ministry of Education), Nankai University, Tianjin 300071, China*)

(2 *Tianjin University of Technology, Tianjin 300091, China*)

Abstract: In order to explore the property of the conical anterior chamber phakic intraocular lenses (PIOL) in the spherical aberration correction, spherical and conical surface PIOLs were designed, and the characters of spherical aberration correction were researched. Based on the model eye of R. Navarro et al, the spherical and conical surface anterior chamber phakic intraocular lenses for the ametropia correction were designed with ZEMAX software. After the comparison of modulate transfer function (MTF) and Zernike spherical aberration, and the analysis of Seidel spherical aberration, it was found that compared with a spherical surface, on the premise of the ocular refractive error being corrected, the conical surface can correct the spherical aberration and make MTF improved observably for hyperopia more than myopia. The correction of spherical aberration for myopia with spherical and conical PIOLs is equivalent. This conclusion would be useful for the design and application of anterior chamber PIOLs.

Key words: Visual optics; Aspherical phakic intraocular lenses; Modulation transfer function; Zernike spherical aberration; Seidel spherical aberration