

引文格式: 李美丽, 邹海东, 庞昆, 何鲜桂, 陆丽娜, 朱剑锋. 傅里叶光学相干断层扫描测量上海市宝山区儿童房角相关参数[J]. 眼科新进展, 2014, 34 (4): 341-344. doi:10.13389/j.cnki.rao.2014.0092

【应用研究】

# 傅里叶光学相干断层扫描测量上海市宝山区儿童房角相关参数<sup>△</sup>

李美丽 邹海东 庞昆 何鲜桂 陆丽娜 朱剑锋

作者简介: 李美丽, 女, 1987年10月出生, 山东淄博人, 在读硕士研究生。联系电话: 18817314741; E-mail: limeili0319@163.com

About LI Mei-Li: Female, born in October, 1987. Postgraduate student. Tel: 18817314741; E-mail: limeili0319@163.com

收稿日期: 2013-03-14

修回日期: 2013-05-09

本文编辑: 周志新

△基金项目: 上海市加强公共卫生体系建设三年行动计划 (2011-2013) 项目 (编号: 2011-15); 上海市卫生局重点课题 (编号: 20114007); 上海市卫生局青年科研项目 (编号: 2010Y113); 上海市公共卫生优秀青年人才培养计划 (编号: 08GWQ036)

作者单位: 200080 上海市, 上海交通大学附属第一人民医院眼科 (李美丽, 邹海东); 221009 江苏省徐州市, 徐州市中心医院泌尿外科 (庞昆); 200040 上海市, 上海市眼病防治中心 (邹海东, 何鲜桂, 陆丽娜, 朱剑锋)

通讯作者: 邹海东, E-mail: zouhaidong@263.net

Received date: Mar 14, 2013

Accepted date: May 9, 2013

Foundation item: Three-year Action Program of Shanghai Municipality for Strengthening Construction of Public Health System (2011-2013) (No: 2011-15); Key Scientific Research Project of Shanghai Municipal Health Bureau (No: 20114007); Research Fund for Young Medical Staff from Shanghai Municipal Health Bureau (No: 2010Y113); Shanghai Public Health Excellent Youth Training Program (No: 08GWQ036)

From the Department of Ophthalmology, Shanghai First People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiaotong University School of Medicine (LI Mei-Li, ZOU Hai-Dong), Shanghai 200080, China; Department of Urology, Xuzhou Central Hospital (PANG Kun), Xuzhou 221009, Jiangsu Province, China; Shanghai Eye Disease Prevention and Treatment Center (ZOU Hai-Dong, HE Xian-Gui, LU Li-Na, ZHU Jian-Feng), Shanghai 200040, China

Responsible author: ZOU Hai-Dong, E-mail: zouhaidong@263.net

## Distribution of anterior chamber angle parameters measured by Fourier-domain optical coherence tomography in children in Baoshan District of Shanghai, China

LI Mei-Li, ZOU Hai-Dong, PANG Kun, HE Xian-Gui, LU Li-Na, ZHU Jian-Feng

【Key words】 anterior chamber angle; RTVue Fourier optical coherence tomography; children; axial length

【Abstract】 **Objective** To study the anterior chamber angle parameters of the normal school-age children using the RTVue Fourier-domain optical coherence tomography (FD-OCT). **Methods** A total of 272 children in primary school in Baoshan District of Shanghai, China were enrolled, the relationship between angle parameters measured by FC-OCT and age, sex, and axial length were explored, the parameters including angle opening distance at 500  $\mu\text{m}$  and 750  $\mu\text{m}$ , trabecular-iris space area at 500  $\mu\text{m}$  and 750  $\mu\text{m}$ , angle recessus area at 500  $\mu\text{m}$  and 750  $\mu\text{m}$ , anterior chamber angle at 500  $\mu\text{m}$  and 750  $\mu\text{m}$ . **Results** The angle parameter values between boys and girls were not statistically significant (all  $P > 0.05$ ); The angle opening distance, angle recessus area, trabecular-iris space area and anterior chamber angle at 500  $\mu\text{m}$  and 750  $\mu\text{m}$  were positively correlated with age and axial length (correlation coefficient  $r$  were from 0.61 to 0.73, from 0.51 to 0.60 separately, all  $P < 0.0001$ ); The parameter value between different ages (7-9 years and 10-12 years, 7-9 years and 13-15 years, 10-12 years and 13-15 years) were statistically significant (all  $P < 0.0001$ ). **Conclusion** Gender is not the main factor on the changes of children angle structure; The angle parameters increase with age prolong and are positively correlated with axial length.

[Rec Adv Ophthalmol, 2014, 34 (4): 341-344]

【关键词】 前房角; RTVue 傅里叶光学相干断层扫描; 儿童; 眼轴长度

【摘要】 目的 利用 RTVue 傅里叶光学相干断层扫描 (FD-OCT) 对正常学龄儿童的前房角各参数进行测量研究。方法 在上海市宝山区小学中纳入 272 名儿童作为研究对象, 采用 FD-OCT 对房角开放距离 500  $\mu\text{m}$ 、750  $\mu\text{m}$  及小梁网-虹膜空间面积、房角隐窝面积、房角角度 4 个反映房角开放程度的参数进行测量, 研究房角各参数与年龄、性别及眼轴长度的关系。结果 男女性别间各房角参数测量值的差异均无统计学意义 (均为  $P > 0.05$ ); 房角开放距离、小梁网-虹膜空间面积、房角隐窝面积及房角角度均与年龄及眼轴长度呈正相关 (相关系数  $r$  分别为 0.61 ~ 0.73、0.51 ~ 0.61, 均为  $P < 0.0001$ ); 各个年龄段之间 (7 ~ 9 岁与 10 ~ 12 岁、7 ~ 9 岁与 13 ~ 15 岁、10 ~ 12 岁与 13 ~ 15 岁) 的参数值差异均有统计学意义 (均为  $P < 0.0001$ )。结论 性别不是影响儿童房角结构变化的主要因素; 各房角参数随着年龄增长而增加, 并与眼轴长度呈显著正相关。

[眼科新进展, 2014, 34 (4): 341-344]

目前间接前房角镜检查法仅能获得定性评价, 且为接触式检查, 其结果与医师的经验和手法有直接关系, 影响房角结构的客观评价。超声生物显微镜 (ultrasound biomicroscopy, UBM) 检查虽然可以定量评估前房角结构, 但也会

接触压迫改变房角自然结构,且检查时间较长,导致患者不适感增加,不适用

于儿童检查<sup>[1]</sup>。相比之下,近年来新推出的 RTVue 傅里叶光学相干断层扫描(FD-OCT)可以对前房角进行非接触式、高分辨率、快速的定量测量。儿童或青少年青光眼绝大多数属于开角型,临床上对开角型青光眼的诊断必须基于房角结构开放的解剖特征。建立普通正常儿童房角结构的具体参数数据库,是儿童青光眼明确诊断分型和有效治疗的基础。本研究采用 FD-OCT 测量上海市宝山区 7~15 岁学龄儿童的房角相关参数,建立儿童房角结构参数数据库,进而探讨学龄儿童各房角参数与年龄、性别及眼轴的关系,现报告如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 本研究采用整群随机抽样的调查方法进行。目标人群为 7~15 岁的正常汉族儿童,屈光度数 -3.00~+3.00 D,排除先天性白内障、青光眼、斜视、弱视等眼部疾病,自愿接受本研究检查。随机选择上海市宝山区的 2 所小学作为调查点,共纳入 272 名儿童的检查结果进行统计分析,其中男 131 人,年龄( $10.79 \pm 2.65$ )岁;女 141 人,年龄( $11.06 \pm 2.33$ )岁。所有入选者均采用右眼测量结果进行统计分析。本研究方案经医院伦理委员会批准,所有研究过程均对儿童家长进行了解释并取得了知情同意。

**1.2 调查组织** 现场调查工作于 2012 年 11 月至 12 月进行。由上海市眼病防治中心负责具体组织,各学校配合进行。调查地点设在各学校中合适的区域。调查队包括经培训的 2 名上海交通大学附属第一人民医院眼科医师(相互配合进行 FD-OCT 操作工作)以及 7 名上海市眼病防治中心医师(担任其他检查医师和检录员)。另由上海市眼病防治中心有流行病学研究经验的专家作为项目主任,负责全面工作。

**1.3 研究方法** 首先,由检录员收集受检者一般资料,包括年龄、性别、既往眼病史等。其次,由上海市眼病防治中心医师负责调查表的收集、保管及整理。由 2 名资料录入人员应用 Excel 软件独立将资料输入计算机。随后,受检儿童在未散瞳下接受眼科常规检查。将符合本研究纳入标准的儿童作为下一步检查的对象。

**1.3.1 前房相关参数测量** 采用 RTVue FD-OCT (Optovue, Inc, Fremont, CA, USA) 收集前房角相关参数,其检查光源为 830 nm 近红外线短波激光,横向及轴向组织分辨率可达  $5.0 \mu\text{m}$ ,成像深度最高达 2.3 mm。检查在暗室中进行,被检查者取坐位,下颌置于 FD-OCT 颌架上,采用内注视外照明的方式,即被检眼注视仪器光源中心,光源方向与眼球垂直,仪器自带两组外照明灯分别置于左右眼颞侧。检查每眼颞侧、鼻侧 2 个象限房角并拍照,各方位至少取 3

张清晰图像,每张图测量 3 次取平均值并记录。利用仪器自带图像分析软件测量房角相关参数,为了更全面地反映房角的变化规律,同时选择参考 500  $\mu\text{m}$  和 750  $\mu\text{m}$  系列的前房角结构参数<sup>[1-2]</sup>,包括:房角开放距离(angle opening distance, AOD)、小梁网-虹膜空间面积(trabecular-iris space area, TISA)、房角隐窝面积(angle recessus area, ARA)、房角角度(anterior chamber angle, ACA)。

**1.3.2 眼轴长度测量** 眼轴长度的测量采用 IOL Master (version 5.02, Carl Zeiss, Jena, Germany) 完成。测量眼轴长度时嘱受检者头部置于头托,注视橙色/红色固视点,连续 5 次测量,取平均值。测量前请患者眨眼,以保证泪膜覆盖。

**1.4 统计学分析** 采用 SPSS 13.0 统计学软件包进行统计分析。男女两组之间的各统计学资料基线比较采用成组比较的 *t* 检验。各房角参数与年龄、眼轴长度的相关性采用直线相关分析,计算相关系数。年龄段之间各参数的两两比较采用 SNK (Student-Newman-Keuls) 检验。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 儿童前房角各参数的测量结果** 儿童前房角各参数 FD-OCT 测量值见表 1。

表 1 儿童前房角各参数测量结果

Table 1 Measurements of anterior chamber angle parameters

Parameter	$\bar{x} \pm s$	Range (min-max)	95% CI
AOD500 (L/mm)	$0.44 \pm 0.14$	0.218 - 1.173	0.428 - 0.462
AOD750 (L/mm)	$0.68 \pm 0.19$	0.379 - 1.578	0.654 - 0.699
TISA500 (S/mm <sup>2</sup> )	$0.15 \pm 0.05$	0.061 - 0.466	0.140 - 0.152
TISA750 (S/mm <sup>2</sup> )	$0.31 \pm 0.10$	0.162 - 0.882	0.303 - 0.327
ARA500 (S/mm <sup>2</sup> )	$0.16 \pm 0.06$	0.066 - 0.502	0.151 - 0.165
ARA750 (S/mm <sup>2</sup> )	$0.33 \pm 0.11$	0.170 - 0.917	0.317 - 0.342
ACA500 (°)	$36.26 \pm 8.30$	19.82 - 64.30	35.27 - 37.25
ACA750 (°)	$38.16 \pm 7.71$	24.03 - 67.25	37.24 - 39.08

**2.2 性别对房角参数测量值的影响** 男女性别间各房角参数测量值差异均无统计学意义(均为  $P > 0.05$ ,见表 2)。

表 2 不同性别间的房角参数测量值

Table 2 Measurements of anterior chamber angle between males and females

Parameter	Male	Female	<i>t</i>	<i>P</i>
AOD500 (L/mm)	$0.45 \pm 0.14$	$0.44 \pm 0.14$	0.42	0.675 6
TISA500 (S/mm <sup>2</sup> )	$0.14 \pm 0.05$	$0.15 \pm 0.05$	-0.74	0.460 1
ARA500 (S/mm <sup>2</sup> )	$0.16 \pm 0.05$	$0.16 \pm 0.06$	-0.80	0.425 0
ACA500 (°)	$36.75 \pm 8.46$	$35.81 \pm 8.17$	0.93	0.354 7
AOD750 (L/mm)	$0.68 \pm 0.18$	$0.67 \pm 0.19$	0.59	0.556 9
TISA750 (S/mm <sup>2</sup> )	$0.32 \pm 0.10$	$0.31 \pm 0.10$	0.63	0.531 0
ARA750 (S/mm <sup>2</sup> )	$0.33 \pm 0.10$	$0.33 \pm 0.11$	0.59	0.555 5
ACA750 (°)	$38.71 \pm 7.61$	$37.65 \pm 7.78$	1.14	0.255 7

**2.3 各房角参数测量值的年龄分布特征及其与年**

**龄的相关关系** 各房角参数在不同年龄段中的分布各异,具体见表3。反映房角开放程度的相关参数AOD、ARA、TISA、ACA均与年龄呈正相关(相关系数 $r$ 为0.61~0.73,均为 $P<0.0001$ )。在 $\alpha=0.01$ 水平上,各个年龄段之间(7~9岁与10~12岁、7~9岁与13~15岁、10~12岁与13~15岁)的参数值差异均有统计学意义(均为 $P<0.0001$ )。

**表3 房角参数测量值的年龄分布及其与年龄的相关关系**

**Table 3 Chamber angle measurements according to age distribution and its correlation with age**

Parameter	$(\bar{x} \pm s)$				$r$	$P$
	Age 7-9 ( $n=90$ )	Age 10-12 ( $n=88$ )	Age 13-15 ( $n=94$ )			
AOD500 ( $^{\circ}/mm$ )	0.35 $\pm$ 0.06	0.42 $\pm$ 0.09	0.56 $\pm$ 0.15	0.70	<0.0001	
TISA500 ( $S/mm^2$ )	0.11 $\pm$ 0.02	0.14 $\pm$ 0.04	0.18 $\pm$ 0.05	0.66	<0.0001	
ARA500 ( $S/mm^2$ )	0.12 $\pm$ 0.03	0.15 $\pm$ 0.04	0.20 $\pm$ 0.06	0.61	<0.0001	
ACA500 ( $^{\circ}/^{\circ}$ )	30.21 $\pm$ 4.83	34.81 $\pm$ 5.94	43.42 $\pm$ 7.49	0.73	<0.0001	
AOD750 ( $^{\circ}/mm$ )	0.55 $\pm$ 0.09	0.65 $\pm$ 0.13	0.83 $\pm$ 0.19	0.69	<0.0001	
TISA750 ( $S/mm^2$ )	0.26 $\pm$ 0.05	0.30 $\pm$ 0.07	0.39 $\pm$ 0.11	0.62	<0.0001	
ARA750 ( $S/mm^2$ )	0.27 $\pm$ 0.05	0.31 $\pm$ 0.07	0.40 $\pm$ 0.12	0.61	<0.0001	
ACA750 ( $^{\circ}/^{\circ}$ )	32.74 $\pm$ 4.80	36.95 $\pm$ 5.43	44.47 $\pm$ 7.29	0.69	<0.0001	

**2.4 眼轴长度与年龄以及各房角参数测量值的关系** IOL Master 测量 272 眼所得的眼轴长度为(23.82 $\pm$ 1.19)mm。直线相关分析表明,各房角相关参数测量值均与眼轴长度呈正相关,AOD500、TISA500、ARA500、ACA500、AOD750、TISA750、ARA750、ACA750与眼轴长度的相关系数 $r$ 分别为0.54、0.53、0.51、0.57、0.60、0.58、0.57、0.61,均为 $P<0.0001$ 。

### 3 讨论

OCT 是一种利用光进行眼部组织横截面成像的影像学检测新技术,由 Izatt 等<sup>[3]</sup>在 1994 年首先应用于眼前节,因可对组织显微结构进行客观的、非侵入性的、高分辨率的、横断面成像的检查而得到广泛临床应用<sup>[4-5]</sup>。本研究采用的最新一代 FD-OCT,具有更高的扫描速率和时间、空间分辨率(比 Visante 高 3 倍),使前房微小解剖结构例如 Schwalbe 线、Schlemm 管及小梁网的成像成为可能,而且可以有效地测量前房角开放程度及前房角病变成像,尤其在角膜透明度差、无法用前房角镜直接观察时,可作疾病诊断随访的客观依据。

在亚洲,原发性闭角型青光眼具有较高的发病率。因此,在亚洲儿童中明确房角参数的正常值范围可能比其他地区儿童更有意义。有研究表明,中央前房深度和房角宽窄作为眼前节的代表性参数,可为房角关闭提供重要的早期筛查及诊断指标<sup>[1,6]</sup>。本研究利用 FD-OCT 定量测量我国学龄儿童前房角相关参数的分布状况,通过建立学龄儿童前房角参数数据库,为儿童青光眼的分型诊断及后续治疗方

案的确定提供流行病学依据。

本研究中,学龄儿童反映房角开放程度的参数与性别没有关联,这一结果与既往研究<sup>[2]</sup>结果相同,表明性别不是影响儿童房角结构变化的主要因素。Kobayashi 等<sup>[7]</sup>利用 UBM 对 46 名年龄为 1~60 个月的正常婴幼儿和儿童的房角进行测量研究,发现 AOD 随着年龄增长而增加。本研究与该结果一致,并证实了包括 AOD 在内的各房角参数测量值在年龄较大(7~15 岁)的儿童中也存在这一趋势。我们进一步把三个年龄段儿童的各房角参数进行两两比较,发现年龄段之间的参数差异均有统计学意义,说明 7~15 岁学龄儿童的房角结构一直处在发育变化阶段。除了房角,眼部其他结构在青少年时期也有继续发育的现象。如有研究发现,10~18 岁的白种人和非洲裔儿童的中央角膜厚度比 10 岁以下的其他年龄组要高,差异具有统计学意义<sup>[8]</sup>,表明青少年的中央角膜厚度仍在发育变化。如果发现房角变化规律改变,应及时做详细检查以排除异常房角。

目前,已有大量的研究分析了成人房角结构特征,以及与房角关闭相关的因素,如有流行病学研究证明,窄房角除了和前房解剖因素相关外,还和人群学指标如性别、年龄以及种族有关<sup>[9]</sup>。在 Lavanya 等<sup>[10]</sup>的研究中,较短的眼轴是成人房角关闭的独立预测因素。Casson 等<sup>[11]</sup>发现,成人房角关闭者的平均眼轴长度比房角开放者短,其差异具有显著统计学意义。然而,对儿童房角结构观察的研究很少。在亚洲目前仅有 He 等<sup>[12]</sup>采用眼前节 OCT (ASOCT) 探讨过 462 对双生子的前房结构参数,分析了 AOD500、ARA750 和 TISA750 与年龄、性别的关系。由于该研究采用双生子这类具有特殊遗传背景的人群,其结果并不能代表普通的正常儿童人群,而且该研究也没有探讨眼轴与房角各参数的关系。

与以往的研究相比,本研究进一步探讨了房角各参数测量值与眼轴的相关关系,从而从更多的角度了解影响房角形态结构的相关因素。结果显示,各房角相关参数测量值与眼轴存在显著正相关,这表明随着眼轴的延长、房角相应地加宽,而这个阶段学龄儿童的眼轴增长与近视的发病率升高密切相关,也就是说近视更易发展成较宽的房角。眼轴较短者的房角较窄,而短眼轴与远视密切相关<sup>[13]</sup>,所以远视更易发展为原发性房角关闭,甚至发展为原发性闭角型青光眼。相比房角和眼底的信息,眼轴更方便测量获得,可以作为常规检查项目。所以青少年中远视者有必要加测眼轴,对眼轴较短者要警惕发生闭角型青光眼的可能,防止漏诊。

综上所述,在上海市宝山区学龄儿童中,各房角相关参数随着年龄增长而增加,并与眼轴长度呈显著正相关,新一代 FD-OCT 为学龄儿童前房角结构的研究提供了一种可行的新方法。本次研究对象为我国青少年,考虑年龄、地区及种族的差异性,结果

仅适用于相同年龄的亚洲人。虽然样本量足够,但是每个年龄亚组的样本含量较小,基于我国的人口国情,若要获得各个年龄段儿童的房角参数分布,未来需要收集更大的样本量做进一步调查研究。

## 参考文献

- 1 Furuya T, Mabuchi F, Chiba T, Kogure S, Tsukahara S, Kashiwagi K. Comparison of the anterior ocular segment measurements using swept-source optical coherence tomography and a scanning peripheral anterior chamber depth analyzer[J]. *Jpn J Ophthalmol*, 2011, 55 (5): 472-479.
- 2 Cheon MH, Sung KR, Choi EH, Kang SY, Cho JW, Lee S, et al. Effect of age on anterior chamber angle configuration in Asians determined by anterior segment optical coherence tomography; clinic-based study[J]. *Acta Ophthalmol*, 2010, 88 (6): 205-210.
- 3 Izatt JA, Hee MR, Swanson EA, Lin CP, Huang D, Schuman JS, et al. Micrometer-scale resolution imaging of the anterior eye *in vivo* with optical coherence tomography[J]. *Arch Ophthalmol*, 1994, 112 (12): 1584-1589.
- 4 Lim JJ, Tan O, Fawzi AA, Hopkins JJ, Gil-Flamer JH, Huang D. A pilot study of Fourier-domain optical coherence tomography of retinal dystrophy patients[J]. *Am J Ophthalmol*, 2008, 146 (3): 417-426.
- 5 Prakash G, Ashok Kumar D, Agarwal A, Sarvanan Y, Jacob S, Agarwal A. Evaluation of bilateral minimum thickness of normal corneas based on Fourier-domain optical coherence tomography[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2010, 36 (8): 1365-1372.
- 6 Aung T, Nolan WP, Machin D, Seah SK, Baasanhu J, Khaw PT, et al. Anterior chamber depth and the risk of primary angle closure in 2 East Asian populations [J]. *Arch Ophthalmol*, 2005, 123 (4): 527-532.
- 7 Kobayashi H, Ono H, Kiyu J, Kobayashi K, Kondo T. Ultrasound biomicroscopic measurement of development of anterior chamber angle [J]. *Br J Ophthalmol*, 1999, 83 (5): 559-562.
- 8 Haider KM, Mickler C, Oliver D, Moya FJ, Cruz OA, Davitt BV. Age and racial variation in central corneal thickness of pre-school and school-aged children [J]. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*, 2008, 45 (4): 227-233.
- 9 Congdon NG, Foster PJ, Wamsley S, Gutmark J, Nolan W, Seah SK, et al. Biometric gonioscopy and the effects of age, race, and sex on the anterior chamber angle [J]. *Br J Ophthalmol*, 2002, 86 (1): 18-22.
- 10 Lavanya R, Wong TY, Friedman DS, Aung HT, Alfred T, Gao H, et al. Determinants of angle closure in older Singaporeans [J]. *Arch Ophthalmol*, 2008, 126 (5): 686-691.
- 11 Casson RJ, Baker M, Edussuriya K, Senaratne T, Selva D, Senanayake S. Prevalence and determinants of angle closure in central Sri Lanka: The Kandy Eye Study [J]. *Ophthalmology*, 2009, 116 (8): 1444-1449.
- 12 He M, Ge J, Wang D, Zhang J, Hewitt AW, Hur YM, et al. Heritability of the iridotrabecular angle width measured by optical coherence tomography in Chinese children: the Guangzhou twin eye study [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008, 49 (4): 1356-1361.
- 13 Chen TC, Tsai TH, Shih YF, Yeh PT, Yang CH, Hu FC, et al. Long-term evaluation of refractive status and optical components in eyes of children born prematurely [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010, 51 (12): 6140-6148.

## (上接第 340 页)

者的全程视力和矫正散光的同时明显改善了患者视觉质量。但是,由于这种 IOL 对患者及手术医师的要求比较高,价格也相对昂贵,因而限制了此种 IOL 的广泛应用。此外,本研究中样本量偏少,观察时间短,其远期疗效及临床应用范围还需要更深入地研究及观察。

## 参考文献

- 1 Fam HB, Lim KL. Meridional analysis for calculating the expected spherocylindrical refraction in eyes with toric intraocular lenses [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2007, 33 (12): 2072-2076.
- 2 Vitale S, Ellwein L, Cotch MF, Ferris FL, Sperduto R. Prevalence of refractive error in United States, 1994-2004 [J]. *Ophthalmology*, 2008, 116 (8): 1111-1119.
- 3 Kim P, Sutton GL, Rootman DS. Applications of the femtosecond laser in corneal refractive surgery [J]. *Curr Opin Ophthalmol*, 2011, 22 (4): 238-244.
- 4 张珂,杜之渝.角膜屈光术后欠矫和回退的原因及治疗方法[J]. *眼科新进展*, 2012, 32 (3): 296-300.
- 5 Liekfeld A, Torun N, Friederici L. A new toric diffractive multifocal lens for refractive surgery [J]. *Ophthalmologie*, 2010, 107 (3): 256-261.
- 6 Visser N, Nuijts RMMA, de Vries NE, Bauer NJC. Visual outcomes and patient satisfaction after cataract surgery with toric multifocal intraocular lens implantation [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2011, 37 (11): 2034-2042.
- 7 Venter J, Pelouskova M. Outcomes and complications of a multifocal toric intraocular lens with a surface-embedded near section [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2013, 39 (6): 859-866.
- 8 Ferreira TB, Marques EF, Rodrigues A, Montes-Mico R. Visual and optical outcomes of a diffractive multifocal toric intraocular lens [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2013, 39 (7): 1029-1035.
- 9 de Vries NE, Webers CAB, Montes-Mico R, Ferrer-Blasco T, Nuijts RMMA. Visual outcomes after cataract surgery with implantation of a +3.00 d or +4.00 d aspheric diffractive multifocal intraocular lens: Comparative study [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2010, 36 (8): 1316-1322.
- 10 Novis C. Astigmatism and toric intraocular lenses [J]. *Curr Opin Ophthalmol*, 2000, 11 (1): 47-50.
- 11 Chang DF. Repositioning technique and rate for toric intraocular lenses [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2009, 35 (7): 1315-1316.
- 12 Scialdone A, De Gaetano F, Monaco G. Visual performance of 2 aspheric toric intraocular lenses: Comparative study [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2013, 39 (6): 906-914.
- 13 Turuwhenua J. A theoretical study of intraocular lens tilt and decentration on perceptual image quality [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2005, 25 (6): 556-567.
- 14 Tang X. Understand aberration and select all aspherical intraocular lens correctly [J]. *Zhonghua Yanke Zazhi*, 2010, 46 (8): 673-675.
- 15 Levy Y, Segal O, Avni I, Zadok D. Ocular high-order aberrations in eyes with supernormal vision [J]. *Am J Ophthalmol*, 2005, 139 (2): 225-228.
- 16 Kelly JE, Mihashi T, Howland HC. Compensation of corneal horizontal/vertical astigmatism, lateral coma, and spherical aberration by internal optics of the eye [J]. *J Vis*, 2004, 4 (4): 262-271.