

Verion 导航系统和传统标记器法行 Toric IOL 轴向标记的精确性比较

冯珂, 陈瑞合, 李玉军

引用: 冯珂, 陈瑞合, 李玉军. Verion 导航系统和传统标记器法行 Toric IOL 轴向标记的精确性比较. 国际眼科杂志 2022; 22(5): 875-879

作者单位: (450005) 中国河南省郑州市, 郑州爱尔眼科医院白内障科

作者简介: 冯珂, 博士, 副主任医师, 副主任, 研究方向: 白内障。

通讯作者: 冯珂. fengke19820705@126.com

收稿日期: 2021-07-30 修回日期: 2022-04-07

摘要

目的: 比较采用 Verion 导航系统和传统标记器法行 Toric IOL 轴向标记的精确性。

方法: 前瞻性随机对照研究。选取 2016-06/2019-12 在我院行白内障超声乳化联合 Toric IOL 植入术的年龄相关性白内障患者 47 例 56 眼随机分为两组: 导航组术前 Verion 导航系统采集眼前节图像, 设定 Toric 目标轴向 27 眼, 标记器组术前使用 Toric 标记器标记水平 0°、180°, 术中根据标记环标记 Toric 目标轴向 29 眼。术后 1h, 1wk, 1、3mo 患者散瞳后眼前节照相, Photoshop 软件分析两组患者实际轴向和目标轴向的偏差值, 并记录患者裸眼视力 (UCDVA)、最佳矫正视力 (BCDVA) 以及残余散光度。

结果: 术后 1h, 3mo 导航组患者 IOL 实际轴向和目标轴向的偏差值小于标记器组 ($1.5^\circ \pm 1.8^\circ$ vs $3.1^\circ \pm 2.1^\circ$; $1.9^\circ \pm 1.6^\circ$ vs $3.3^\circ \pm 2.4^\circ$, 均 $P < 0.05$)。术后 3mo, 导航组和标记器组平均 UCDVA (LogMAR) 比较无差异 (0.04 ± 0.08 vs 0.06 ± 0.07 , $P = 0.338$); 残余散光度比较无差异 (-0.39 ± 0.32 vs $-0.45 \pm 0.31D$, $P = 0.491$)。

结论: Verion 导航和手动标记方法标记 Toric IOL 轴向都有较高的准确性, 尽管导航组并未显示出 UCDVA 和残余散光度方面的优势, 但是 IOL 轴向偏差导航组显著小于标记器组, 导航标记下植入 Toric IOL 轴向更精准。

关键词: Verion 数字导航系统; 轴向标记; Toric 人工晶状体 (IOL); 白内障; 散光

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2022.5.36

Comparison of Toric IOL alignment marking using Verion image guided system and conventional manual marker

Ke Feng, Rui-He Chen, Yu-Jun Li

Department of Cataract, Zhengzhou Aier Eye Hospital, Zhengzhou 450005, Henan Province, China

Correspondence to: Ke Feng. Department of Cataract, Zhengzhou Aier Eye Hospital, Zhengzhou 450005, Henan Province, China. fengke19820705@126.com

Received: 2021-07-30 Accepted: 2022-04-07

Abstract

• **AIM:** To compare the accuracy of Toric intraocular lens (IOL) alignment using the Verion image guided system and conventional manual marker.

• **METHODS:** Prospective randomized controlled study. A total of 56 eyes of 47 age-related cataract patients who underwent phacoemulsification combined with Toric IOL implantation in our hospital from June 2016 to December 2019 were randomly divided into two groups: In the image-guided group, Verion navigation system collected anterior segmental images before surgery, and Toric target was set to 27 eyes in axial direction. In the marker group, Toric target was marked at 0° and 180° levels before surgery, and Toric target was marked in 29 eyes in axial direction according to the labeling ring. At 1h, 1wk, 1 and 3mo postoperatively, the anterior segment of patients with dilated pupil was photographed. Photoshop software was used to analyze the deviation between the actual axial direction and the target axial direction of the two groups, and the patients' naked eye visual acuity (UCDVA), best corrected visual acuity (BCDVA) and residual astigmatism were recorded.

• **RESULTS:** At 1h and 3mo postoperatively, the deviation between the actual axis and the target axis of IOL in the navigation group was less than that in the marker group ($1.5^\circ \pm 1.8^\circ$ vs $3.1^\circ \pm 2.1^\circ$; $1.9^\circ \pm 1.6^\circ$ vs $3.3^\circ \pm 2.4^\circ$, all $P < 0.05$). There was no difference in UCDVA (LogMAR) between the navigation group and the marker group (0.04 ± 0.08 vs 0.06 ± 0.07 , $P = 0.338$) and there was no difference in residual divergence (-0.39 ± 0.32 vs $-0.45 \pm 0.31D$, $P = 0.491$) between two groups at 3mo after operation.

• **CONCLUSION:** Verion digital marking and manual marking showed high accuracy in marking Toric IOL axial direction. Although the navigation group showed no advantage in UCDVA and residual astigmatism, the IOL misalignment in navigation group was significantly smaller than the marker group, and Toric IOL axial direction was implanted more accurately under Verion digital marking.

• **KEYWORDS:** Verion image guided system; axis marking; Toric intraocular lens (IOL); cataract; astigmatism

Citation: Feng K, Chen RH, Li YJ. Comparison of Toric IOL alignment marking using Verion image guided system and conventional manual marker. *Guji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022; 22(5):875-879

0 引言

随着白内障手术技术的进步,现代白内障手术已进入屈光性白内障手术时代,人们生活水平的提高导致对术后视力的要求也越来越高。临床工作中发现白内障患者中有大约52%的患者同时具有 $>0.75\text{D}$ 的角膜散光,30%的患者同时具有 $>1.25\text{D}$ 的角膜散光^[1-2]。如果术中植入散光矫正型人工晶状体(IOL),就可以直接矫正散光,大量研究证明植入Toric IOL安全有效^[3-4]。Toric IOL植入后脱镜率可以达到70%~85%^[5-7]。而决定散光矫正效果的关键因素是Toric IOL散光轴向的精准性,偏离 5° 就会降低预期效力的17%^[8]。因此,术前精准的轴向标记对于保证术后良好效果和减少残余散光度非常重要。从Toric IOL开始使用以来,有很多手工标记方法,如Toric标记器标记法、裂隙灯标记法等^[9-11],但是最新的数字导航系统(Verion Digital Marker M)诞生以后,Toric IOL植入不需要术前手工标记,可以术中直接定位。本研究通过比较新型的数字导航技术和传统手工标记技术来定位Toric IOL的精确性。

1 对象和方法

1.1 对象 前瞻性随机对照研究。选取2016-06/2019-12在我院行白内障超声乳化联合Toric IOL植入术的年龄相关性白内障患者47例56眼。纳入标准:(1)年龄 ≥ 20 岁;(2)单眼或双眼白内障合并1D以上的角膜散光。排除标准:(1)角膜不规则散光;(2)合并眼部其他疾病如角膜病、葡萄膜炎、年龄相关性黄斑变性、青光眼、糖尿病性黄斑病变、视网膜脱离、严重玻璃体混浊、视神经病变、虹膜异常、瞳孔变形及其他影响角膜曲率的因素,如翼状胬肉、严重干眼、曾有眼内及屈光手术史等。所有患者均签署知情同意书,且能按时随访。本研究符合《赫尔辛基宣言》并经医院医学伦理委员会审核通过。

1.2 方法

1.2.1 术前检查 术前每例患者均进行全面的眼科评估,包括视力、眼压、验光、裂隙灯显微镜、眼底、生物测量(IOL Master 500)、角膜地形图(Pentacam)、角膜内皮镜、眼B超检查等。视力检查采用5m处国际标准视力表,亮度为 $(85\text{cd}/\text{m}^2)$ 。矫正视力通过电脑验光仪客观及显然验光结合插片完成。

1.2.2 植入Toric IOL度数计算 所有病例均植入Acrysof aspheric Toric IOL,柱镜:1.50(T3)~6.00D(T9),球镜:C6.00~C30.00D,IOL球镜度数测量用IOL Master,Toric计算器在线计算确定IOL柱镜度数、手术切口位置和IOL预设植入轴向(目标轴向),手术2.2mm切口,采用术源性散光(surgically induced astigmatism,SIA)为0.3D。

1.2.3 散光标记和手术方法 所有手术均由同一位有经验的医师完成,采用2.2mm切口标准乳化劈核手术技术。导航组应用Verion数字导航系统术前小瞳孔下进行眼前节图像的采集,输入患者相关检查数据及手术参数,导出散光轴向图,术中植入IOL后调整IOL散光轴向与导航设定目标轴线重合。标记器标记组术前患者采用坐位,头位保持垂直,对侧眼平视远处目标。采用0.5%盐酸丙美卡

因滴眼液表面麻醉,使用开眼睑器来保持眼睛睁大,用Toric角膜散光标记器在3:00和9:00位角膜缘处做标记。术中根据3:00和9:00位的标记再用环形标记器来二次标记需要的IOL植入轴向及切口轴向,植入IOL后调整IOL散光轴向与标记点重合。

1.2.4 术后随访 术后1h,1wk,1,3mo随访。检查裸眼视力(uncorrected distant visual acuity,UCDVA)、最佳矫正远视力(best corrected distant visual acuity,BCDVA)。充分散瞳后由同一位检查者在裂隙灯下采用数码照相机在后部反射光下拍摄眼前节照片,拍摄时注意眼位的水平和头位的调整,拍摄后用Photoshop软件进行图像分析,记录IOL轴向偏差值。术后1h IOL的实际轴向与目标轴向的偏差定义为校准偏差;术后1h的IOL实际轴向和随后任何时间点的IOL实际轴向的偏差为旋转偏差;IOL实际轴向与目标轴向的偏差值为绝对偏差(包括校准偏差和旋转偏差)。

统计学分析:采用SPSS 22.0统计软件进行分析。符合正态分布的计量资料,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,两组手术前后组内比较采用配对样本 t 检验、术后组间比较采用独立样本 t 检验;术后组间样本率采用百分比表示,比较采用卡方检验,重复测量数据采用重复测量方差分析。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者术前一般资料比较 本研究共纳入年龄相关性白内障患者47例56眼,其中男20例26眼,女27例30眼,年龄31~79岁,术前角膜散光1.0~4.0(平均 2.05 ± 0.73)D。随机分为两组:导航组术前Verion导航系统采集眼前节图像,设定Toric目标轴向27眼,标记器组术前使用Toric标记器标记水平 0° 、 180° ,术中根据标记环标记Toric目标轴向29眼。两组患者术前一般资料比较差异均无统计学意义($P>0.05$),见表1。

2.2 两组患者手术前后视力比较 两组患者术中和术后3mo UCDVA、BCDVA比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。导航组70%(19眼)和标记器组72%(21眼)患者术后UCDVA ≥ 0.8 (小数视力),两组间比较差异无统计学意义($P>0.05$),见图1,表2。

2.3 两组患者手术前后残余散光度比较 术后3mo导航组和标记器组术后散光度均低于术前角膜散光,差异有统计学意义($t=17.166, P<0.0001; t=17.001, P<0.0001$)。两组残余散光度在术后3mo差异无统计学意义($P>0.05$),见表3。导航组78%(21眼)的患者和标记器组69%(20眼)的患者术后残余散光度 $\leq 0.50\text{D}$,差异无统计学意义($P>0.05$),见图2。

2.4 两组患者术后不同时间点Toric IOL轴向偏差比较

2.4.1 两组患者术后1h的校准偏差 导航组 $1.5^\circ\pm 1.8^\circ$,标记器 $3.1^\circ\pm 2.1^\circ$,导航组的校准偏差低于标记器组,差异

表1 两组患者术前一般资料比较

组别	例数	眼数	年龄(岁)	眼轴长度(mm)
导航组	23	27	63.1 ± 7.8	23.4 ± 0.8
标记器组	24	29	65.7 ± 7.1	23.3 ± 0.9
t			1.167	0.208
P			0.249	0.836

表 2 两组患者手术前后视力比较

($\bar{x} \pm s$, LogMAR)

组别	例数	眼数	UCDVA		BCDVA	
			术前	术后 3mo	术前	术后 3mo
导航组	23	27	0.53±0.19	0.04±0.08	0.28±0.25	0.01±0.06
标记器组	24	29	0.42±0.17	0.06±0.07	0.25±0.21	0.02±0.05
<i>t</i>			2.218	0.967	0.472	0.657
<i>P</i>			0.031	0.338	0.638	0.514

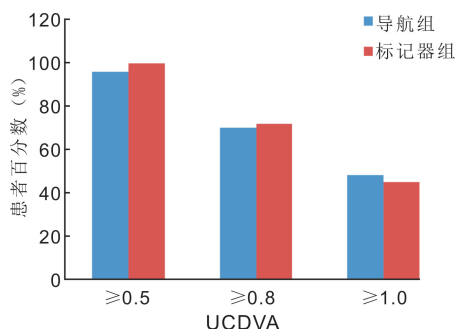


图 1 两组患者术后 3mo UCDVA 比较。

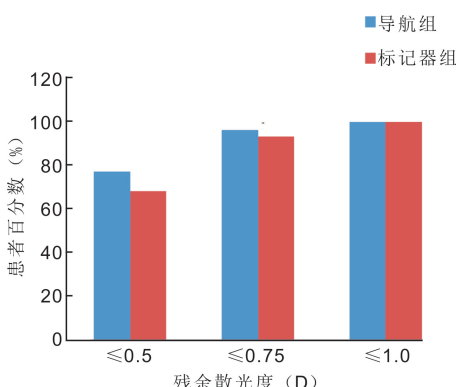


图 2 两组患者术后 3mo 残余散光度比较。

有统计学意义 ($t = 2.981, P = 0.005$)。导航组偏差范围 $0.2^\circ \sim 6.2^\circ$, 偏差 $\leq 5^\circ$ 有 25 眼 (93%); 标记器组偏差范围 $0.8^\circ \sim 8.1^\circ$, 偏差 $\leq 5^\circ$ 有 23 眼 (79%)。

2.4.2 两组患者术后 IOL 旋转偏差比较 两组患者术后 IOL 旋转偏差组间和交互比较差异无统计学意义 ($F_{\text{组间}} = 4.117, P_{\text{组间}} = 0.053; F_{\text{交互}} = 4.299, P_{\text{交互}} = 0.135$), 时间比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 5.214, P_{\text{时间}} = 0.047$)。术后 1h~1wk, 1h~1mo, 1h~3mo 两组间的 IOL 平均旋转偏差比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 4。

2.4.3 两组患者术后实际轴向和目标轴向的绝对偏差比较 两组患者术后实际轴向和目标轴向的绝对偏差比较差异有统计学意义 ($F_{\text{组间}} = 24.125, P_{\text{组间}} = 0.002; F_{\text{时间}} = 54.321, P_{\text{时间}} < 0.01; F_{\text{交互}} = 45.211, P_{\text{交互}} < 0.01$)。术后 1wk, 1, 3mo 导航组绝对偏差 (包括校准偏差和旋转偏差) 低于标记器组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 5。

2.5 并发症和不良事件 术后 3mo 导航组和标记器组都有 1 眼患者因后囊膜混浊行 YAG 激光后囊切开, 激光治疗后 UCDVA 为 0.6 和 0.8, 导航组有 1 眼患者术后眼压升高, 经降眼压药物治疗后眼压正常, 所有患者均未发生后囊膜破裂、角膜水肿、黄斑囊样水肿等并发症, 无一例因 IOL 轴向偏差过大而进行 IOL 调位。

3 讨论

散光矫正型 IOL——Toric IOL 可矫正角膜散光, 提高裸眼视力, 临床上广泛应用^[12]。Toric 标记器标记法是目前临床上应用广泛的角膜散光轴向标记方法, 用 Toric 角膜散光标记器在 3:00 和 9:00 位角膜缘处做标记, 手术中再用标记环进行切口和轴向的 2 次标记, 容易受到标记者主观因素 (操作熟练度, 左右利手等) 和患者配合度 (头位、眼位等) 的影响。患者进行标记后, 泪液、表面麻醉药物、消毒液等的冲刷都可能使标记颜色变淡或消失, 致使术中无法清晰分辨标记的位置, 而同时标记器笔的粗细等将影响标记的准确性。标记流程也较为繁琐, 需术前手动标记、术中目测标记线再进行二次标记等。而且患者仰卧位手术, 据 Swami 等^[13]研究表明, 患者在坐位、卧位眼位改变时, 眼球旋转角度平均为 $4.1^\circ \pm 3.7^\circ$, 8% 的患者眼球旋转超过 10° 。研究证明, Toric IOL 的轴向在预定的位置, 则角膜的散光度能按预期效果得到矫正, 术后 Toric IOL 1° 的旋转会造成矫正散光的作用减少 3.3%, Toric IOL 轴向偏差 30° 将完全丧失矫正散光的作用, 偏差超过 30° 反而增加原有的散光度数, 并且出现复视、眩光等症状^[14]。

近年来, 随着 Verion 数字导航系统逐渐应用于临床, Toric IOL 的标记也更精准。Verion 数字手术导航系统有测量模块、规划模块和导航模块三大模块, 手术前测量模块可以获得术眼的高分辨率的图像, 系统通过彩色照片比对, 捕获巩膜血管、角膜缘和虹膜标记, 可实现 360° 范围血管对应, 在术中通过这些标记对眼部进行配准和追踪, 采用生物特征进行全程跟踪比对。这些标记点所代表的角膜轴向是固定不变的, 不以患者体位的变化而变化, 其对散光轴向进行引导的准确性是值得肯定的, 同时其无创操作不会对角膜造成额外创伤, 临床操作简单。

关于 Toric IOL 植入的散光标记方法有大量文献研究。过去的研究大部分是手工标记, 认为手工标记是金标准。Visser 等^[9]的研究中, 使用 3 步法手工标记 (标记器法) 得到的平均旋转误差是 $4.9^\circ \pm 2.1^\circ$ 。Popp 等^[10]比较了手动标记方法 (裂隙灯标记, 标记器标记), 平均 Toric 旋转偏差裂隙灯 $2.3^\circ \pm 1.8^\circ$, 标记器 $2.9^\circ \pm 1.9^\circ$, 裂隙灯误差小于标记器。最近的研究集中在导航和手工标记的对比, Elhofi 等^[15]对分别采用 Verion 导航标记和 Nuijts-Lane 标记器手工标记, 两组患者植入 Toric IOL 的效果进行了比较, 术后随访 3mo, Toric IOL 轴向、手工标记轴向与目标轴向的偏差分别为 $1.7^\circ \pm 1.5^\circ$ 和 $3.1^\circ \pm 2.7^\circ$, 两组差异有统计学意义, 他们认为采用 Verion 导航标记 Toric IOL 的散光轴向更加准确。Titival 等^[16]也比较导航和传统三步法手工标记 (传统手工标记组: $5.5^\circ \pm 3.3^\circ$, 导航组 $3.6^\circ \pm 2.6^\circ$;

表3 两组患者手术前后残余散光度比较

			($\bar{x} \pm s, D$)			
组别	例数	眼数	术前	术后 3mo	<i>t</i>	<i>P</i>
导航组	23	27	2.32±0.76	-0.39±0.32	17.166	<0.01
标记器组	24	29	2.56±0.87	-0.45±0.31		
<i>t</i>			1.077	0.692		
<i>P</i>			0.289	0.491		

表4 两组患者术后 IOL 旋转偏差比较

			($\bar{x} \pm s, ^\circ$)		
组别	例数	眼数	术后 1h~1wk	术后 1h~1mo	术后 1h~3mo
导航组	23	27	0.8±0.7	1.3±1.1	1.4±1.2
标记器组	24	29	1.3±1.4	1.5±1.1	1.7±1.3
<i>t</i>			1.653	0.661	0.873
<i>P</i>			0.105	0.511	0.387

表5 两组患者术后实际轴向和目标轴向的绝对偏差比较

			($\bar{x} \pm s, ^\circ$)		
组别	例数	眼数	术后 1wk	术后 1mo	术后 3mo
导航组	23	27	1.3±1.8	1.9±1.7	1.9±1.6
标记器组	24	29	3.1±2.3	3.3±2.5	3.3±2.4
<i>t</i>			3.179	2.391	2.507
<i>P</i>			0.002	0.021	0.016

$P=0.005$)。这些研究结果和本研究结果一致,导航组平均的偏差均小于手工标记组,表示导航相比其他手动标记更准确。但是这些研究也是有局限性的,在这些研究中,术后校准偏差不是术后即刻测量的,而是几个星期以后,而 Toric IOL 在术后早期是可以旋转的。因此,几个星期之后测量的校准偏差并非真正的校准偏差,而包含了旋转偏差,这样就会导致校准偏差测量不准确。

本研究结果显示术后即刻(1h)的校准偏差导航组 $1.5^\circ \pm 1.8^\circ$,标记器 $3.1^\circ \pm 2.1^\circ$,导航组小于标记器组,差异具有统计学意义。术后 3mo Toric IOL 实际轴向和目标轴向的偏差值导航组 $1.9^\circ \pm 1.6^\circ$,标记器组 $3.3^\circ \pm 2.4^\circ$,导航组小于标记器组,差异具有统计学意义。而术后 1h~3mo 随访期间两组的 IOL 平均旋转偏差是没有统计学差异的。提示手术即刻的校准偏差导航系统要小于手动标记程序,而两组术后的 IOL 旋转度是相同的。原因考虑还是手工标记受主观因素,标记笔的粗细和清晰度,以及二次标记,坐卧位眼位改变等因素的影响,导致标记准确性下降,校准偏差大。而 Verion 导航术中患者注视配合后自动生成轴向线,自动对位配合度高,术者在显微镜下可实时观察患者的切口位置、撕囊口大小以及 Toric IOL 的放置轴向,省掉了术前繁琐的标记步骤,减少了手工操作造成的误差,并且排除了眼球的旋转,精准性高。

本研究显示虽然导航系统标记 IOL 轴向的绝对偏差要小于手动标记程序,但是并未导致两组术后 UCDVA 和残余散光度的差异。术后 3mo,导航组 70%的患者和标记器组 72%的患者术后 UCDVA ≥ 0.8 ,导航组 78%的患者和标记器组 69%的患者术后残余散光度 $\leq 0.50D$,两组无显著性差异。

除了标记环节会导致 Toric IOL 植入误差,散光晶状体植入的误差还可能发生于白内障手术的很多环节,包括术前、术中和术后。术前测量的误差可能会导致陡峭轴

的定位不准^[17],如测量的角膜曲率不是角膜中心的曲率,没有评估角膜后表面的情况,或者患者的散光为不规则散光,术后 IOL 的旋转或者囊袋皱缩都也会导致 Toric IOL 散光轴偏差^[18]。而在手术环节,眼球的旋转也可能会导致校准误差^[13],这是患者由站位或坐位变换为仰卧位或者是球周麻醉的结果,另外患者眼睑下垂遮挡角膜,也会导致水平轴向的定位困难,还有手术最后晶状体轴向未与目标轴向对准也会导致误差。另外,后表面散光在 Toric IOL 柱镜计算中有很重要的作用^[19-21]。因为角膜的后表面是一个凹透镜(负透镜),忽略角膜的这部分在顺规散光患者中会导致术前角膜散光的过矫,然而在逆规散光患者中发生欠矫正。本研究的局限性在于研究使用的 Toric 计算器,用的是前表面角膜曲率,忽略了后表面散光,将后表面散光和有效晶状体位置(effective lens position, ELP)考虑进去计算散光,才能实现 Toric 晶状体非常完美的矫正散光^[20,22],因此将来实现二代 Toric 计算器是非常重要的。

综上所述,数字导航和手动标记方法标记 Toric 晶状体轴向都有较高的准确性,尽管本研究并未显示用导航组 UCDVA 和残余散光度方面的优势,但是 IOL 轴向偏差导航组显著小于标记器组,导航标记下植入 Toric IOL 轴向更精准。同时也需要进一步的研究考虑角膜后表面散光来研究如何更精准地植入 Toric IOL。

参考文献

- 1 Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R, Peixoto-de-Matos SC, et al. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(1):70-75
- 2 Hoffmann PC, Hütz WW. Analysis of biometry and prevalence data for corneal astigmatism in 23, 239 eyes. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(9):1479-1485
- 3 Visser N, Beckers HJ, Bauer NJ, et al. Toric vs aspherical control intraocular lenses in patients with cataract and corneal astigmatism; a

- randomized clinical trial. *JAMA Ophthalmol* 2014;132(12):1462–1468
- 4 Kessel L, Andresen J, Tendal B, *et al.* Toric intraocular lenses in the correction of astigmatism during cataract surgery: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2016;123(2):275–286
- 5 Ahmed II, Rocha G, Slomovic AR, *et al.* Visual function and patient experience after bilateral implantation of toric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(4):609–616
- 6 Holland E, Lane S, Horn JD, *et al.* The AcrySof Toric intraocular lens in subjects with cataracts and corneal astigmatism: a randomized, subject-masked, parallel-group, 1-year study. *Ophthalmology* 2010;117(11):2104–2111
- 7 Waltz KL, Featherstone K, Tsai L, *et al.* Clinical outcomes of TECNIS toric intraocular lens implantation after cataract removal in patients with corneal astigmatism. *Ophthalmology* 2015;122(1):39–47
- 8 Ma JJK, Tseng SS. Simple method for accurate alignment in toric phakic and aphakic intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(10):1631–1636
- 9 Visser N, Berendschot TT, Bauer NJ, *et al.* Accuracy of toric intraocular lens implantation in cataract and refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2011;37(8):1394–1402
- 10 Popp N, Hirschall N, Maedel S, *et al.* Evaluation of 4 corneal astigmatic marking methods. *J Cataract Refract Surg* 2012;38(12):2094–2099
- 11 Montes de Oca I, Kim EJ, Wang L, *et al.* Accuracy of toric intraocular lens axis alignment using a 3-dimensional computer-guided visualization system. *J Cataract Refract Surg* 2016;42(4):550–555
- 12 Visser N, Bauer NJ, Nuijts RM. Toric intraocular lenses: historical overview, patient selection, IOL calculation, surgical techniques, clinical outcomes, and complications. *J Cataract Refract Surg* 2013;39(4):624–637
- 13 Swami AU, Steinert RF, Osborne WE, *et al.* Rotational malposition during laser *in situ* keratomileusis. *Am J Ophthalmol* 2002;133(4):561–562
- 14 Patel CK, Ormonde S, Rosen PH, *et al.* Postoperative intraocular lens rotation: a randomized comparison of plate and loop haptic implants. *Ophthalmology* 1999;106(11):2190–2195;discussion 2196
- 15 Elhofi AH, Helaly HA. Comparison between digital and manual marking for toric intraocular lenses: a randomized trial. *Medicine (Baltimore)* 2015;94(38):e1618
- 16 Titiyal JS, Kaur M, Jose CP, *et al.* Comparative evaluation of toric intraocular lens alignment and visual quality with image-guided surgery and conventional three-step manual marking. *Clin Ophthalmol* 2018;12:747–753
- 17 Norrby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(3):368–376
- 18 Langenbucher A, Viestenz A, Szentmáry N, *et al.* Toric intraocular lenses—theory, matrix calculations, and clinical practice. *J Refract Surg* 2009;25(7):611–622
- 19 Koch DD, Jenkins RB, Weikert MP, *et al.* Correcting astigmatism with toric intraocular lenses: effect of posterior corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2013;39(12):1803–1809
- 20 Abulafia A, Hill WE, Franchina M, *et al.* Comparison of methods to predict residual astigmatism after intraocular lens implantation. *J Refract Surg* 2015;31(10):699–707
- 21 Eom Y, Rhim JW, Kang SY, *et al.* Toric intraocular lens calculations using ratio of anterior to posterior corneal cylinder power. *Am J Ophthalmol* 2015;160(4):717–724
- 22 Abulafia A, Koch DD, Wang L, *et al.* New regression formula for toric intraocular lens calculations. *J Cataract Refract Surg* 2016;42(5):663–671