

· 临床研究 ·

# 应用 Corvis ST 测量仪评估白内障超声乳化手术前后角膜生物力学的变化

徐凌霄 魏荫娟 宋慧

300020 天津医科大学眼科临床学院 天津市眼科医院 天津市眼科学与视觉科学重点实验室 天津市眼科研究所

通信作者:宋慧, Email: songh221@hotmail.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.02.013

**【摘要】** **目的** 通过应用可视化角膜生物力学分析仪(Corvis ST)测量并比较白内障超声乳化手术前后角膜生物力学的变化,探讨3.0 mm透明角膜切口对角膜生物力学的影响。**方法** 采用患眼手术前后自身对照研究设计。于2015年3—5月纳入在天津市眼科医院行白内障超声乳化摘出联合后房型人工晶状体植入术的患者36例36眼,采用Corvis ST分别测量患眼术前、术后1周、术后1个月的第一/第二次压平时间、第一/第二次压平长度、第一/第二次压平速度、最大压陷时间、峰距(PD)、最大形变幅度(DA)、最大压陷曲率、眼压、矫正眼压和中央角膜厚度(CCT),所有检查均在7:00~10:00进行。采用重复测量单因素方差分析对不同时间点受检眼各生物力学参数进行比较。**结果** 受检眼术前、术后1周、术后1个月第一次压平长度、第二次压平长度、眼压、PD、DA以及CCT测量值的总体比较差异均有统计学意义( $F=3.42, 5.24, 4.21, 3.82, 3.91, 4.03, 3.62$ ,均 $P<0.05$ )。术后1周,受检眼第一次压平长度值较术前增加,第二次压平长度值下降,眼压和矫正眼压值升高,PD和DA值均增加,CCT变厚,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。术后1个月,受检者第一次压平长度值较术前1周下降,第二次压平长度值增加,眼压和矫正眼压值降低,PD和DA值均变小,CCT变薄,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。术后1个月第一次压平长度值、第二次压平长度值、眼压、矫正眼压、PD、DA和CCT均至术前水平,与术前比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$ )。**结论** 白内障超声乳化术后早期角膜生物力学特性发生改变,术后1个月术前角膜生物力学特性恢复至术前水平。

**【关键词】** 角膜生物力学; 白内障/手术; 超声乳化术; 可视化角膜生物力学分析仪

## Change of corneal biomechanical properties caused by phacoemulsification using corneal visualization Scheimpflug technology

Xu Lingxiao, Wei Yinjuan, Song Hui

Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University, Tianjin Eye Hospital, Tianjin Key Lab of Ophthalmology and Visual Science, Tianjin Eye Institute, Tianjin 300020, China

Corresponding author: Song Hui, Email: songh221@hotmail.com

**【Abstract】** **Objective** To explore the corneal biomechanical characteristics change in cataractous eyes before and after phacoemulsification using corneal visualization Scheimpflug technology (Corvis ST) and evaluate the influence of 3 mm clear corneal incision on corneal biomechanics. **Methods** A self-control study was performed. Thirty-six eyes of 36 patients who received phacoemulsification were enrolled in Tianjin Eye Hospital from March to May 2015. The first/second applanation time, the first/second applanation length, the first/second applanation velocity, the highest concavity time, the highest concavity radius, peak distance (PD), deformation amplitude (DA), intraocular pressure, corrected intraocular pressure and central corneal thickness (CCT) were measured in preoperation, postoperative 1 week and postoperative 1 month. This study protocol was approved by Ethic Committee of Tianjin Eye Hospital, and written informed consent was obtained from each patient prior to any medical examination. **Results** The first/second applanation length, intraocular pressure, corrected intraocular pressure, PD, DA and CCT were significantly different among preoperation, postoperative 1 week and postoperative 1 month ( $F = 3.42, 5.24, 4.21, 3.82, 3.91, 4.03, 3.62$ ; all at  $P < 0.05$ ). Compared with the preoperative parameters, the first applanation length value was increased, and the second applanation length was reduced; the intraocular pressure and corrected intraocular pressure were elevated, and PD and DA values were increased, and the CCT was thickened in 1 week postoperative, with significant differences between the two time points (all at  $P < 0.05$ ). Compared with the postoperative 1 week, the first applanation length value was reduced, and the second applanation length value was increased; the intraocular pressure and corrected intraocular pressure were lowered, and PD and DA values were smaller, and the CCT was thinner in postoperative 1 month, showing significant differences between the two time points (all at  $P < 0.05$ ). The first applanation length, the second applanation length, the intraocular pressure, corrected intraocular pressure, PD, DA and CCT in postoperative 1 month returned to the preoperative levels (all at  $P > 0.05$ ). **Conclusions** Corneal biomechanical properties occur change in the early stage after phacoemulsification and return to normal in postoperative 1 month.

[Key words] Corneal biomechanics; Cataract/surgery; Phacoemulsification; Corneal visualization Scheimpflug technology

角膜形状不仅取决于角膜的组织构成,还取决于眼压与组织分散压力的角膜生物力学属性。角膜的屈光力为 43 D, 约占人眼总屈光力的 2/3, 因此角膜表面的几何形状对人眼的视觉产生很大影响。角膜具有黏弹性, 角膜特性的描述除角膜厚度、角膜曲率等形态学指标外, 还包括角膜的生物力学特性。角膜微观结构的变化可由角膜生物力学的变化加以体现<sup>[1]</sup>。角膜的生物力学性能评估对角膜形状的改变、角膜屈光手术的设计、白内障手术切口的选择、人工角膜的研发、角膜接触镜的设计以及圆锥角膜和青光眼等疾病的早期筛查等均具有重要意义<sup>[2]</sup>, 因此了解角膜结构与生物力学特性之间的关系对有关疾病治疗方案的选择, 从而改变全眼的屈光力具有极为重要的意义。多种眼科手术切口对角膜形状和角膜生物力学特性产生很大影响, 从而导致难以预估的视力偏差<sup>[3-5]</sup>。白内障超声乳化手术的切口有逐渐减小的趋势, 术后恢复时间越来越短, 但由手术切口引起的手术源性散光并不能完全避免<sup>[6-7]</sup>, 且会带来影响视觉质量的高阶像差<sup>[8]</sup>, 这些变化对角膜生物力学特性产生的影响一直是研究热点。本研究拟评估白内障超声乳化手术中透明角膜切口对角膜生物力学特性的影响, 以对透明角膜切口的选择提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

采用术眼手术前后自身对照研究设计。于 2015 年 3—5 月在天津市眼科医院纳入接受白内障超声乳化摘出联合后房型人工晶状体 (intraocular lens, IOL) 植入术者 36 例 36 眼, 其中男 16 例 16 眼, 女 20 例 20 眼; 患者平均年龄 (68.3±6.3) 岁。纳入标准: (1) 参照 Emery 及 Little 分级标准, 术眼晶状体核分级为 III 级; (2) 裸眼视力为 0.3~0.5, 散光度 ≤1 D; (3) 术前准备充分, 术中及术后无意外发生; (4) 眼轴长度为 24~25 mm, Kappa 角在 ±5° 以内。排除标准: (1) 角膜表面欠规则或透光度差者; (2) 自动对焦困难而不能注视、上睑遮蔽角膜不能顺利完成角膜生物力学指标检查者; (3) 有圆锥角膜、小角膜、小眼球、角膜炎、翼状胬肉、角膜斑翳、老年环等其他眼病者; (4) 有眼部手术史者; (5) 有全身其他疾病者。本研究遵循赫尔辛基宣言, 研究方案经天津市眼科医院伦理委员会批准, 所有受检者均被告知检查目的, 并获得受检者及家属的知情同意。

### 1.2 方法

**1.2.1 术前准备** 所有术眼均行白内障超声乳化摘出联合 IOL 植入术。术前患者常规行心电图、胸部 X 线检查及相关全身体格检查, 排除全身病及手术禁忌证。术眼术前行裸眼视力、最佳矫正视力检查和眼压测量, 并行裂隙灯显微镜检查、角膜内皮细胞计数、眼 B 型超声检查、角膜曲率测定及人工晶状体度数测量, 并采用可视化角膜生物力学分析仪 (corneal visualization Scheimpflug technology, Corvis ST) 进行角膜生物力学指标测定。所有检查均在每日 7:00~10:00 进行, 以免昼夜波动对测量结果产生影响<sup>[9]</sup>。

**1.2.2 手术方法** 术前 30 min 术眼用体积分数 0.5% 盐酸丙美卡因滴眼液点眼 3 次行表面麻醉。常规消毒铺巾, 于术眼 11:00 位做透明角膜缘主切口, 长度约 3.0 mm, 辅助切口均位于 2:00 位透明角膜缘, 前房注入黏弹剂, 用截囊针进行连续环形撕囊, 直径约 5.5 mm, 平衡盐液进行水分离及水分层, 超声乳化碎核, 用 A/I 抽吸皮质, 前房再次注入黏弹剂, 植入折叠型后房型 IOL, 用 A/I 抽吸干净黏弹剂及残余皮质, 用平衡液密闭手术切口, 术毕用左氧氟沙星滴眼液点眼并涂妥布霉素地塞米松眼膏, 医用纱布包扎术眼。

**1.2.3 术后情况** 术后术眼用更昔洛韦眼用凝胶点眼每晚 1 次, 用普拉洛芬滴眼液、盐酸左氧氟沙星滴眼液点眼每日 4 次, 用氟米龙滴眼液点眼每日 4 次, 每周递减 1 次, 术后 1 个月停用所有局部用药。分别于术后 1 d、术后 1 周、术后 1 个月复诊, 无失访者。复查项目包括视力检测、裂隙灯显微镜检查和角膜生物力学参数测定。

**1.2.4 角膜生物力学参数测定** 采用 Corvis ST 对受检眼角膜生物力学参数进行测定分析。Corvis ST 采用气冲印压技术引起角膜压陷形变, 同时借助超高 Scheimpflug 拍摄技术 (4 330 帧/s) 实时动态记录角膜中央水平截面的形变全过程, 经系统软件分析后慢动作显示在显示屏上。用计算机输入受检者信息, 嘱受检者下颌置于下颌垫上, 前额靠紧前额托, 瞬目数次后固视仪器中央红点。检查者使用控制操纵杆进行对焦, 当达到第一个浦氏反射时, 自动发射空气脉冲印压角膜形变。记录能够反映角膜生物力学性质的相关形变参数: 第一/第二次压平时间, 即角膜从初始状态至第一/第二次压平状态的时间; 第一/第二次压平长度, 即第一/第二次压平状态时角膜前表面压平部分的长度; 第一/第二次压平速度, 即第一/第二次压平状态时角膜顶点压陷/反弹时的速度, 以正值表示; 最大压

陷时间,即角膜由初始状态至最大压陷经过的时间;反向曲率半径,即最大压陷时角膜前表面曲率半径;峰距 (peak distance, PD),即最大压陷时角膜非变形部分最高点之间的距离;最大形变幅度 (deformation amplitude, DA),即角膜由初始状态至最大压陷时角膜顶点产生的垂直距离。Corvis ST 还根据气压脉冲大小、第一次及第二次压平时间获得眼压值,并提供基于角膜厚度的矫正眼压值。根据初始状态中央水平截面图测量截面角膜顶点处角膜前后表面垂直距离,得到中央角膜厚度 (central corneal thickness, CCT) 值。

### 1.3 统计学方法

采用 SPSS 17.0 统计学软件进行统计分析。本研究测量指标的数据资料经 W 检验证实呈正态分布,以  $\bar{x} \pm s$  表示。采用术眼手术前后自身对照的研究设计,术眼术前、术后 1 周和术后 1 个月测定的角膜各生物力学参数的总体比较采用重复测量单因素方差分析,不同时间点间两两比较采用 SNK-q 检验。P<0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

术眼术前、术后 1 周和术后 1 个月角膜第一次压平长度、第二次压平长度、眼压、矫正眼压、PD、DA 以及 CCT 值的总体比较差异均有统计学意义 (F=3.42、5.24、4.21、3.82、3.91、4.03、3.62,均 P<0.05)。术后 1 周,术眼第一次压平长度值较术前增加,第二次压平长度值下降,眼压和矫正眼压均升高,PD 和 DA 值均增加,CCT 变厚,差异均有统计学意义 (均 P<0.05)。术后 1 个月,术眼第一次压平长度值较术前 1 周值下降,第二次压平长度值增加,眼压和矫正眼压均降低,PD 和 DA 值均下降,CCT 变薄,差异均有统计学意义 (均 P<0.05)。术后 1 个月,术眼第一次压平长度、第

二次压平长度、眼压、矫正眼压、PD、DA 和 CCT 值均接近术前水平,与术前比较差异均无统计学意义 (均 P>0.05)。术前、术后 1 周和术后 1 个月术眼第一次压平速度、第二次压平速度、第一次压平时间、第二次压平时间、最大压陷曲率、最大压陷时间总体比较差异均无统计学意义 (均 P>0.05) (表 1)。

## 3 讨论

角膜是保护眼球免受外界损伤的直接屏障,其正常的结构特性对其弹性功能的实现至关重要。白内障超声乳化摘出联合 IOL 植入术治疗白内障的手术创伤小,但手术操作对屈光的影响较为复杂。近年来的研究显示,术中切口不同对术后残留角膜散光的影响程度不同,白内障患者术后视力恢复与角膜散光密不可分<sup>[10]</sup>。术后早期切口附近组织水肿以及高眼压等因素导致上方角膜缘切口附近角膜皱褶,垂直径线的角膜变陡,水平径线的角膜变平,术后短期内产生以顺规散光为主的屈光不正。术后远期切口处组织水肿消退,切口间有结缔组织长入以及重力作用等,角膜散光由顺规性逐渐转向逆规性,最终出现以逆规性散光为主的轻度屈光不正。这也说明手术切口的愈合过程直接影响角膜的散光变化,这种散光的变化是由角膜结构变化及角膜生物力学的变化所致。

角膜生物力学参数测量方法主要包括离体测量和活体测量,活体测量法以眼反应分析仪 (reichert ocular response analyzer, ORA) 测量为主。ORA 测量的主要生物力学参数是角膜滞后量 (corneal hysteresis, CH) 和角膜阻力因子 (corneal resistance factor, CRF)。Song 等<sup>[11]</sup>应用 ORA 评估白内障超声乳化术前与术后 4 周角膜生物力学的变化,显示 CCT 越厚,CRF 越大,眼轴越长,眼压下降幅度越小。这表明白内障超声乳化手术可引起角膜上皮特性、角膜几何学、角膜测量学在内的角膜生物力学特性改变<sup>[12-13]</sup>。此外, Hager 等<sup>[14]</sup>采用 ORA 观察了一组接受经透明角膜切口的白内障超声乳化手术患者,发现 CCT 由术前的 (556.8±32.5) μm 增加到术后 1 d 的 (580.3±45.5) μm, CH 由术前的 (10.4±2.5) mmHg 降低到术后 1 d 的 (9.2±1.9) mmHg,非接触式眼压测量值由术前的 (17.9±3.8) mmHg 升高至术后 1 d 的 (20.1±6.3) mmHg;而对照

表 1 术前、术后 1 周和术后 1 个月角膜各生物力学参数比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

时间	眼数	第一次压平长度 (mm)	第二次压平长度 (mm)	第一次压平速度 (m/s)	第二次压平速度 (m/s)	第一次压平时间 (ms)	第二次压平时间 (ms)
术前	36	1.75±0.05	1.88±0.15	0.15±0.03	-0.37±0.04	7.48±0.23	21.36±0.80
术后 1 周	36	1.87±0.05 <sup>a</sup>	1.55±0.32 <sup>a</sup>	0.14±0.02	-0.38±0.08	7.40±0.30	21.47±0.40
术后 1 个月	36	1.76±0.03 <sup>b</sup>	1.80±0.31 <sup>b</sup>	0.15±0.02	-0.33±0.09	7.36±0.27	21.74±0.44
F 值		3.42	5.24	2.66	3.02	3.08	1.82
P 值		0.04	0.01	0.07	0.06	0.06	0.08

  

时间	眼数	眼压 (mmHg)	矫正眼压 (mmHg)	PD (mm)	最大压陷曲率 (mm)	DA (mm)	最大压陷时间 (ms)	CCT (μm)
术前	36	15.54±2.47	15.06±2.36	4.11±1.19	7.12±0.56	1.13±0.19	0.50±0.14	562.08±23.08
术后 1 周	36	17.91±3.30 <sup>a</sup>	17.72±3.33 <sup>a</sup>	5.82±0.81 <sup>a</sup>	7.03±0.58	1.62±0.16 <sup>a</sup>	0.58±0.17	589.83±26.26 <sup>a</sup>
术后 1 个月	36	14.83±2.85 <sup>b</sup>	14.35±2.68 <sup>b</sup>	4.51±1.12 <sup>b</sup>	7.24±0.74	1.10±0.13 <sup>b</sup>	0.83±0.25	561.42±28.00 <sup>b</sup>
F 值		4.21	3.82	3.91	1.52	4.03	1.77	3.62
P 值		0.03	0.04	0.04	0.07	0.02	0.08	0.04

注:与各自的术前值比较,<sup>a</sup>P<0.05;与各自的术后 1 周值比较,<sup>b</sup>P<0.05 (重复测量单因素方差分析, SNK-q 检验) PD:峰距;DA:最大形变幅度;CCT:中央角膜厚度 (1 mmHg=0.133 kPa)



组术后 27 周角膜 CCT、CH 值与术前比较差异均无统计学意义。低 CH 值、白内障术后角膜水肿所致的 CCT 增加、前房内炎症、房水暂时流出受阻等综合因素往往会造成本术后一过性眼压升高。然而有学者认为,ORA 无法评估测量参数与经典生物力学参数之间的关系,也无法直接反映角膜的生物力学特性<sup>[15-16]</sup>。ORA 测量的 CH 和 CRF 是通过专有算法对测量波形进行推导得出的,不能实时动态显示角膜形变过程<sup>[17-18]</sup>。

Corvis ST 是一种新型的活体评估角膜生物力学性能的仪器,可通过 Scheimpflug 高速摄像技术实时动态记录角膜受压形变及形态还原的过程,进而可对角膜形变过程中角膜生物力学性能的变化情况进行分析。Corvis ST 所测得的参数具有较好的重复性和一致性<sup>[19-21]</sup>。

目前,国内外采用 Corvis ST 评估超声乳化手术前后角膜生物力学变化的研究报道较少。本研究中采用 Corvis ST 分析经透明角膜切口的白内障超声乳化手术前后术眼角膜生物力学变化,发现术后 1 周第一次压平长度较术前变长,其原因可能为术后角膜的结构受到手术损伤,角膜弹性较术前减弱所致。第二次压平长度是角膜由凹面转向凸面的瞬间角膜前表面压平部分的长度,此过程的作用力是由角膜本身的黏弹性、眼压和逐渐减小的气流产生的。术眼术后 1 周第二次压平长度变长,其原因与角膜的密闭性被破坏有关。术眼术后 1 周 CCT 较术前变厚,其原因可能与术中超声能量的分布及角膜透明切口水肿有关。本研究中术眼术后 1 周 CCT 较术前明显增厚,眼压较术前明显升高,但术后 1 周 PD 和 DA 均较术前变大,其原因可能是角膜透明切口使角膜的密闭性及完整性受损,导致 PD 和 DA 变大。Corvis ST 所测的术后 1 周术眼第一/第二次压平速度、第一/第二次压平时间以及最大压陷时间与术前相比差异均无统计学意义,其原因可能为角膜的黏弹性使角膜内外的作用力处于相对平衡状态,使得在节点处的速度和时间并无明显变化。术后 1 个月受检眼角膜切口愈合,角膜生物力学特性恢复正常。

综上所述,角膜透明切口白内障超声乳化术术后早期可引起术眼的角膜生物力学特性发生改变,术后不同程度的角膜水肿及眼压升高可能是角膜生物力学特性改变的主要原因。随着术后时间延长,角膜水肿消失,角膜透明切口在术后 1 个月逐渐愈合,角膜生物力学特性基本恢复至术前水平且渐趋稳定。本研究中纳入的是晶状体核分级为Ⅲ级的白内障患者,尽可能地减少术后角膜水肿以及角膜内皮细胞丢失等因素的影响。手术切口的制备会直接影响角膜生物力学的变化,本研究中仅比较了上方角膜切口的影响,不同位置和大小

的切口对角膜生物力学的影响有待进一步研究,以为最佳角膜切口的选择提供依据,同时研究术后角膜散光和各角膜生物力学参数之间的关系也是研究的方向,以进一步筛选出其他有临床意义的角膜生物力学参数。

## 参考文献

- [1] Cano D, Barbero S, Marcos S. Comparison of real and computer-simulated outcomes of LASIK refractive surgery[J]. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 2004, 21(6): 926-936.
- [2] Ortiz D, Piñero D, Shabayek MH, et al. Corneal biomechanical properties in normal, post-laser in situ keratomileusis, and keratoconic eyes[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2007, 33(8): 1371-1375. DOI: 10.1016/j.jcrs.2007.04.021.
- [3] Jiménez J, Añera R, Jiménez DBL, et al. Differences between real and predicted corneal shapes after aspherical corneal ablation[J]. *Appl Opt*, 2005, 44(21): 4528-4532.
- [4] Jiménez J, Añera R, Jiménez DBL, et al. Correction factor for ablation algorithms used in corneal refractive surgery with gaussian-profile beams[J]. *Opt Express*, 2005, 13(1): 336-343.
- [5] Llorente L, Barbero S, Cano D, et al. Myopic versus hyperopic eyes: axial length, corneal shape and optical aberrations[J]. *J Vis*, 2004, 4(4): 288-298.
- [6] Beltrame G, Salvat ML, Chizzolini M, et al. Corneal topographic changes induced by different oblique cataract incisions[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2001, 27(5): 720-727.
- [7] Alió JL, Elkady B, Ortiz D, et al. Microincision multifocal intraocular lens with and without a capsular tension ring: optical quality and clinical outcomes[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2008, 34(9): 1468-1475. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.05.042.
- [8] Guirao A, Tejedor J, Artal P. Corneal aberrations before and after small-incision cataract surgery[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2004, 45(12): 4312-4319. DOI: 10.1167/iovs.04-0693.
- [9] Kucumen RB, Yenerel NM, Gorgun E, et al. Corneal biomechanical properties and intraocular pressure changes after phacoemulsification and intraocular lens implantation[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2008, 34(12): 2096-2098. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.08.017.
- [10] Brown NA, Sparrow JM. Control of astigmatism in cataract surgery[J]. *Br J Ophthalmol*, 1988, 72(7): 487-493.
- [11] Song X, Langenbacher A, Gatzoufas Z, et al. Effect of biometric characteristics on the change of biomechanical properties of the human cornea due to cataract surgery[J]. *J Ophthalmol*, 2014, 2014: 628019 [2016-10-13]. DOI: 10.1155/2014/628019.
- [12] Spörl E, Terai N, Hausteiner M, et al. Biomechanical condition of the cornea as a new indicator for pathological and structural changes[J]. *Ophthalmologe*, 2009, 106(6): 512-520. DOI: 10.1007/s00347-008-1910-0.
- [13] Wilson SE, Klyce SD. Quantitative descriptors of corneal topography. A clinical study[J]. *Arch Ophthalmol*, 1991, 109(3): 349-353.
- [14] Hager A, Loge K, Schroeder B, et al. Effect of central corneal thickness and corneal hysteresis on tonometry as measured by dynamic contour tonometry, ocular response analyzer, and Goldmann tonometry in glaucomatous eyes[J]. *J Glaucoma*, 2008, 17(5): 361-365.
- [15] McMonnies CW. Assessing corneal hysteresis using the Ocular Response Analyzer[J]. *Optom Vis Sci*, 2012, 89(3): 343-349. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3182417223.
- [16] Detry-Morel M, Jamart J, Pourjavan S. Evaluation of corneal biomechanical properties with the Reichert Ocular Response Analyzer[J]. *Eur J Ophthalmol*, 2011, 21(2): 138-148.
- [17] Alió JL, Agdeppa MC, Rodríguez-Prats JL, et al. Factors influencing corneal biomechanical changes after microincision cataract surgery and standard coaxial phacoemulsification[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2010, 36(6): 890-897. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.12.041.
- [18] Terai N, Raikup F, Hausteiner M, et al. Identification of biomechanical properties of the cornea: the ocular response analyzer[J]. *Curr Eye Res*, 2012, 37(7): 553-562. DOI: 10.3109/02713683.2012.669007.
- [19] Hon Y, Lam AK. Corneal deformation measurement using Scheimpflug noncontact tonometry[J]. *Optom Vis Sci*, 2013, 90(1): 1-8. DOI: 10.1097/OPX.0b013e318279eb87.
- [20] Nemeth G, Hassan Z, Csutak A, et al. Repeatability of ocular biomechanical data measurements with a Scheimpflug-based noncontact device on normal corneas[J]. *J Refract Surg*, 2013, 29(8): 558-563. DOI: 10.3928/1081597X-20130719-06.
- [21] Valbon BF, Ambrósio R, Fontes BM, et al. Ocular biomechanical metrics by CorVis ST in healthy Brazilian patients[J]. *J Refract Surg*, 2014, 30(7): 468-473. DOI: 10.3928/1081597X-20140521-01.

(收稿日期:2016-12-10 修回日期:2017-10-19)

(本文编辑:刘艳 张宇)