

# 年龄相关性白内障患者眼轴和角膜曲率对角膜生物力学的影响

宋沙沙<sup>1,2</sup>, 李 军<sup>2</sup>, 宋 慧<sup>2</sup>

基金项目: 天津市应用基础与前沿技术研究计划 (No. 15JCYBJC27600)

作者单位:<sup>1</sup>(300070) 中国天津市, 天津医科大学眼科临床学院; <sup>2</sup>(300020) 中国天津市, 天津市眼科医院

作者简介: 宋沙沙, 在读硕士研究生, 研究方向: 白内障。

通讯作者: 宋慧, 毕业于天津医科大学, 博士, 主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向: 白内障. songh221@hotmail.com

收稿日期: 2017-03-15 修回日期: 2018-01-04

## Effects of axial length and corneal curvature on corneal biomechanics in elderly population

Sha-Sha Song<sup>1,2</sup>, Jun Li<sup>2</sup>, Hui Song<sup>2</sup>

Foundation item: Project of Tianjin Science Committee (No. 15JCYBJC27600)

<sup>1</sup>Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China; <sup>2</sup>Tianjin Eye Hospital, Tianjin 300020, China

Correspondence to: Hui Song. Tianjin Eye Hospital, Tianjin 300020, China. songh221@hotmail.com

Received: 2017-03-15 Accepted: 2018-01-04

### Abstract

• AIM: To explore the corneal biomechanical properties of the elderly with different axial length (AL) and corneal curvature by corneal visualization Scheimpflug Technology (Corvis ST).

• METHODS: Cross-sectional study. A total of 161 patients (297 eyes) undergoing phacoemulsification were collected in this study. They were divided into 22-24mm, 24-26mm, more than 26mm groups according to axial length (190 eyes, 54 eyes and 53 eyes, respectively). Those of whom axial length was 22-24mm and the corneal curvature was 42-44D were divided into male and female groups (44 eyes and 49 eyes, respectively). Those of whom axial length was 22-24mm were divided into 42-44D group, more than 44D group according to corneal curvature (88 eyes, 102 eyes, respectively). Corvis ST was used to measure the biomechanical parameters of the cornea. The differences in the parameters between different groups were analyzed using the independent-samples *t* test or one-way analysis of variance and correlation analyses were performed using Pearson correlation analysis.

• RESULTS: When comparing the corneal biomechanical

parameters, no statistically significant differences were found between male and female groups ( $P > 0.05$ ). The first applanation length and second applanation length among different corneal curvatures were statistically significant ( $P < 0.05$ ). There was statistical significance on the difference of the second applanation velocity, deformation amplitude, central cornea thickness, intraocular pressure in different AL groups ( $P < 0.05$ ). The axial length was positively correlated with deformation amplitude, intraocular pressure ( $r = 0.429, 0.278; P < 0.001$ ), but there was negative linear correlation between the patient's axial length and central cornea thickness, the second applanation velocity ( $r = -0.291, -0.415; P < 0.001$ ).

• CONCLUSION: The corneal curvature and ocular axial length may be the factors affecting the corneal biomechanical characteristics. The longer axial length, the thinner corneal thickness, the more easily the cornea is deformed, and with the increase of the axial length, intraocular pressure also increases.

• KEYWORDS: biomechanic; corneal visualization Scheimpflug technology; axial length; corneal curvature

Citation: Song SS, Li J, Song H. Effects of axial length and corneal curvature on corneal biomechanics in elderly population. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2018;18(2):239-244

### 摘要

目的: 探讨应用可视化角膜生物力学分析仪 (corneal visualization Scheimpflug technology, Corvis ST) 研究不同眼轴长度 (axial length, AL) 和角膜曲率的老年人角膜生物力学特点。

方法: 横断面研究。收集拟接受白内障手术的患者 161 例 297 眼, 将研究对象按 AL 值的不同进行分组: 22 ~ 24mm 者 190 眼, 24 ~ 26mm 者 54 眼, >26mm 者 53 眼。将 AL 为 22 ~ 24mm、K 值 42 ~ 44D 之间的研究对象按性别进行分组, 男 44 眼, 女 44 眼; 对 AL 为 22 ~ 24mm 的研究对象按 K 值的不同分组: 42 ~ 44D 者 88 眼, >44D 者 102 眼; 应用可视化角膜生物力学分析仪 (Corvis ST) 测量角膜生物力学参数, 并对不同性别、不同眼轴、不同角膜曲率患者的角膜生物力学参数进行比较性分析, 采用单因素方差分析、独立样本 *t* 检验等对数据进行统计, 并分析各组生物力学参数间的相关性。

结果: 男女之间角膜生物力学参数比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 不同角膜曲率间只有第一压平长度、第二压平长度比较, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。不同眼轴长组间: 第二压平速度、最大形变幅度、中央角膜厚度、眼

压的组间比较,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。眼轴与最大形变幅度及眼压呈线性正相关( $r = 0.429, 0.278, P < 0.001$ ),与中央角膜厚度、第二压平速度呈线性负相关( $r = -0.291, -0.415, P < 0.001$ )。

**结论:**角膜曲率和AL可能是使角膜力学属性发生改变的角膜相关参数,角膜厚度会随着眼轴的增长呈现变薄的趋势,角膜也较容易发生形变,而且眼压也会随着眼轴的增长而逐渐增高。

**关键词:**生物力学;可视化角膜生物力学分析仪;眼轴;角膜曲率

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2018.2.08

**引用:**宋沙沙,李军,宋慧.年龄相关性白内障患者眼轴和角膜曲率对角膜生物力学的影响.国际眼科杂志2018;18(2):239-244

## 0 引言

角膜是具有一定厚度和表面张力的生物软组织材料,也是不易发生较大变形的黏弹性材料。角膜生物力学特征颇为复杂,且不是固定不变的,临床眼科中角膜的微观结构发生变化,角膜生物力学属性也会随之发生变化,并随年龄增长呈下降趋势<sup>[1]</sup>。病理状态下,如青光眼、圆锥角膜、角膜变性等,角膜的力学属性也会出现相应的变化<sup>[2-4]</sup>。角膜力学性质在圆锥角膜和角膜炎症与变性等角膜疾病的病因及诊断、角膜交联手术前后的效果评估、人工角膜的研发、角膜屈光手术及改善眼睛总屈光力等方面具有重要的指导作用。因此通过测量角膜生物力学的相关参数评估手术、诊断相关疾病和开发有效诊疗措施成为最近研究的热点。

近期出现了一种新型的活体角膜生物力学性能的仪器 Corvis ST。该设备能够实时动态记录角膜受压形变的全过程,并记录形变过程参数和分析角膜生物力学特性,但由于该设备刚刚应用于临床,缺乏大量的试验与临床应用的可靠数据,而相关研究主要分析设备测量参数的重复性和一致性<sup>[5-6]</sup>。近期已有研究将 Corvis ST 应用于临床研究,如早期圆锥角膜筛查、角膜交联手术效果评估、角膜屈光手术术式选择和术后评估<sup>[7-8]</sup>。

白内障手术逐渐发展为微切口超声乳化手术,手术切口大小不仅关系到眼球自闭性、感染的发生率,关系到手术源性散光、术后裸眼视力恢复,也关系到眼球完整性遭到破坏,整体生物力学的变化。手术切口的制备受到患者自身因素,如角膜厚度、角膜曲率等影响。而且以往资料多是以不同屈光手术前后或是角膜疾病方面进行研究,对于老年人的角膜生物力学的研究鲜有报道。本研究以60~80岁老年人群为研究对象,应用 Corvis ST 测量老年人角膜生物力学参数,观察不同眼轴长和角膜曲率的老年人角膜生物力学特点,试图分析不同角膜曲率、不同眼轴长度(axial length, AL)是否会影响角膜的生物力学特性,从而探讨最佳的手术切口选择。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 收集2014-11/2015-09在天津市眼科医院白内障科拟接受白内障手术的术前人群。研究对象入选标准:年龄为60~80(平均69.97±5.81)岁,无眼部其他特殊眼病史,如圆锥角膜、小眼球、角膜云翳、角膜变性、青

光眼和活动性眼部疾病,无眼部外伤、手术史和影响眼部的全身其他系统性疾病。本研究对象包括161例297眼,其中男71例124眼(41.7%),女90例173眼(58.2%)。将研究对象按AL值的不同进行分组:22~24(22.92±0.53)mm者190眼,24~26(24.64±0.52)mm者54眼,>26(28.64±1.76)mm者53眼。将AL为22~24mm、K值42~44D之间的研究对象按性别进行分组,男44眼,女44眼;对AL为22~24mm的研究对象按K值的不同分组:42~44(43.40±0.38)D者88眼,>44(45.55±1.01)D者102眼。

## 1.2 方法

**1.2.1 主要仪器和检查方法** 所有纳入的对象都进行常规的全身检查,排除影响眼部的其他全身性疾病。并进行一系列的眼部检查,包括裸眼和矫正视力、眼压测量、裂隙灯检查、眼底检查、IOL Master 测量角膜曲率和眼轴,Corvis ST 检查角膜的生物力学相关参数。所有检查均测量3次,取其平均值。

**1.2.2 可视化角膜生物力学分析仪** 可视化角膜生物力学分析仪(corneal visualization Scheimpflug technology, Corvis ST)利用超高速Scheimpflug 拍摄技术(最高采集速率4330帧/s,采集范围为8.5mm直径,图像分辨率为640×480像素<sup>[9]</sup>)实时动态记录角膜中央水平截面的形变全过程,经专业系统软件分析后慢动作显示在控制面板上,在测量过程中角膜在气流作用下向内凹陷达第一压平,由于气流作用的减弱至消失和眼内压及角膜黏弹性的性质,角膜在返回初始状态时经历第二次压平。Corvis ST 记录下角膜的整个形变过程中能够反映角膜生物力学性质的相关形变参数:第一、第二压平时间(the first/second applanation time, A-time1/A-time2),即从开始到角膜处于第一、第二压平时的时间,此参数与眼内压(intraocular pressure, IOP)的计算有关;第一、第二压平速率(first/second applanation velocity, Vin/Vout),即角膜处于第一、第二压平时的速度;第一、第二压平长度(the first/second applanation length, A-length1/A-length2),即角膜处于第一、第二压平时角膜被压平部分的长度,其受角膜局部波动的影响较大。最大压陷时间(highest concavity time, HC-time),即从开始到角膜发生最大形变时的时间,此参数唯一与年龄有相关性<sup>[10]</sup>。最大压陷曲率(highest concavity radius, HC-radius),即角膜发生最大形变时,角膜前表面的曲率半径;峰距(peak distance, PD),即角膜发生最大形变时,角膜非变形部分最高点间的距离;最大形变幅度(deformation amplitude, DA),即角膜发生最大形变时,角膜顶点从初始位置达最大形变时的位置的距离,被认为临床研究中最应该关注的角膜力学参数<sup>[11]</sup>。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内压,并提供基于角膜厚度的矫正眼压。该设备还能够测量中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT),即角膜处于初始状态时角膜顶点处角膜前后表面垂直距离。

**1.2.3 检查方法** Corvis ST 自动模式自动瞄准和对焦,自动发射空气脉冲印压角膜形变,在大约30ms的采集时间内,记录了140张角膜形变过程的断层图像,进而分析并获取有关角膜生物力学特性的参数。

统计学分析:横断面研究。采用SPSS18.0 统计软件

表 1 不同性别间角膜生物力学的相关参数的比较  $\bar{x} \pm s$

参数	男	女	<i>t</i>	<i>P</i>
A-length1 (mm)	1.79±0.06	1.78±0.08	0.54	0.59
A-length2 (mm)	1.85±0.20	1.82±0.20	0.78	0.44
Vin (m/s)	0.14±0.02	0.15±0.01	-1.87	0.06
Vout (m/s)	-0.32±0.11	-0.30±0.11	-0.49	0.62
PD (mm)	4.09±1.16	4.54±0.97	-1.96	0.06
HC-radius (mm)	7.54±0.77	7.20±1.15	1.62	0.11
DA (mm)	1.11±0.12	1.14±0.12	-1.18	0.24
CCT (μm)	546.93±34.12	544.74±37.56	0.29	0.78
A-time1 (ms)	7.35±0.39	7.27±0.31	0.98	0.33
A-time2 (ms)	21.59±0.79	21.37±3.20	0.44	0.66
HC-time (ms)	17.32±0.96	17.25±0.84	0.41	0.69
IOP (mmHg)	13.45±4.13	12.81±3.40	0.81	0.42

注:峰距 (peak distance, PD);第一、第二压平长度 A-length1/A-length2;第一、第二压平速率 (first/second applanation velocity, Vin/Vout);最大压陷曲率 (highest concavity radius, HC-radius);最大形变幅度 (deformation amplitude, DA);中央角膜厚度 (central corneal thickness, CCT);第一、第二压平时间 A-time1/A-time2;最大压陷时间 (highest concavity time, HC-time);眼内压 (intraocular pressure, IOP)。

表 2 不同角膜曲率组间角膜生物力学的参数的比较  $\bar{x} \pm s$

参数	42~44D	>44D	<i>t</i>	<i>P</i>
A-length1 (mm)	1.78±0.07	1.74±0.12	2.50	0.01
A-length2 (mm)	1.83±0.21	1.73±0.25	3.04	<0.01
Vin (m/s)	0.14±0.02	0.14±0.04	-0.30	0.77
Vout (m/s)	-0.33±0.09	-0.34±0.09	0.27	0.79
PD (mm)	4.26±1.11	4.22±1.16	0.23	0.82
HC-radius (mm)	7.34±1.00	7.10±1.31	1.41	0.16
DA (mm)	1.13±0.12	1.15±0.14	-1.44	0.15
CCT (μm)	546.20±35.54	538.20±32.79	1.62	0.11
A-time1 (ms)	7.31±0.34	7.31±0.45	-0.01	0.10
A-time2 (ms)	21.70±0.62	22.35±0.46	-1.42	0.16
HC-time (ms)	17.33±0.82	17.04±1.83	1.40	0.16
IOP (mmHg)	13.19±3.70	13.26±4.65	-0.11	0.91

注:峰距 (peak distance, PD);第一、第二压平长度 A-length1/A-length2;第一、第二压平速率 (first/second applanation velocity, Vin/Vout);最大压陷曲率 (highest concavity radius, HC-radius);最大形变幅度 (deformation amplitude, DA);中央角膜厚度 (central corneal thickness, CCT);第一、第二压平时间 A-time1/A-time2;最大压陷时间 (highest concavity time, HC-time);眼内压 (intraocular pressure, IOP)。

对数据进行统计。数据资料以  $\bar{x} \pm s$  表示。首先对各组数据利用 K-S (Kolmogorov-Smirnov) 进行正态性检验。应用独立样本 *t* 检验对不同性别、不同角膜曲率组间比较,不同眼轴长组间的角膜生物力学参数的差异比较利用单因素方差分析,并进一步利用 SNK-*q* 法进行两两比较,眼轴长度与相关系数之间的相关性分析采用 Pearson 相关分析。以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同性别间角膜生物力学相关参数的分析 Corvis ST 所测出的角膜生物力学的所有参数,老年男性和女性

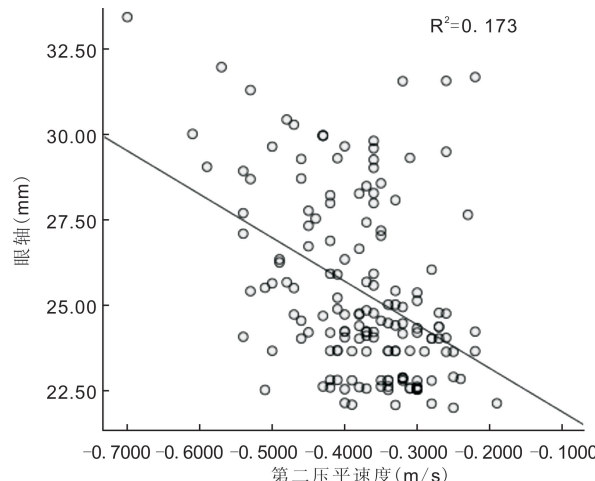


图 1 眼轴长度与第二压平速度呈线性负相关 ( $r = -0.415, P < 0.001$ )。

之间的力学属性的相关参数比较,差异均无统计学意义 (*P*>0.05,表 1)。

2.2 不同角膜曲率组间角膜生物力学的相关参数的分析

根据 2.1 的结果,我们认为角膜生物力学的相关参数在性别中无差异,故合并性别在眼轴长度 22~24mm 之间进行不同角膜曲率组间的参数比较,Corvis ST 所测出的角膜力学属性的参数,角膜曲率在 42~44D 组和角膜曲率>44D 组的第一压平长度分别是 1.78±0.07mm 和 1.74±0.12mm,两组间差异有统计学意义 (*P*<0.05);平均第二压平长度是 1.83±0.21mm 和 1.73±0.25mm,两组间差异有统计学意义 (*P*<0.05),其他参数均不存在统计学意义 (表 2)。

2.3 不同眼轴长度组间角膜生物力学的相关参数的分析

基于 2.1 和 2.2 的比较结果显示,我们认为角膜生物力学的参数在性别中无差异,在不同角膜曲率组间有差异,但依据眼轴分组中的三个不同眼轴长度组间的角膜曲率并不存在统计学差异 ( $F = 2.36, P = 0.10$ ),故并不考虑角膜曲率对角膜形变参数的影响。在进行不同眼轴长度组间形变参数的比较中,Corvis ST 所测出的角膜力学参数通过单因素方差分析得出第二压速度、最大形变幅度、中央角膜厚度、眼压,组间差异有统计意义 (*P*<0.05)。进一步利用 SNK-*q* 法两两比较,AL 在 22~24mm 和 AL>26mm 两组比较,及 AL 在 22~24mm 和 AL 在 24~26mm 两组比较,第二压速度、最大形变幅度、中央角膜厚度、眼压都具有统计差异,而 AL 在 24~26mm 和 AL>26mm 两组之间比较,只有第二压平速度和最大形变幅度两组间差异有统计学意义 (表 3)。

2.4 眼轴与相关参数间的相关性分析

眼轴与最大形变幅度和眼压均呈线性正相关 ( $r = 0.429, 0.278, P < 0.001$ ),与角膜厚度、第二压平速度均呈线性负相关 ( $r = -0.291, -0.415, P < 0.001$ ,图 1~4)。

3 讨论

角膜是一种复杂的、黏弹性的各向异性的组织。角膜基质层胶原纤维是影响角膜抗拉强度的重要因素,当基质层胶原纤维的排列因创伤和疾病的影响而改变时,会影响角膜的生物力学的性质。眼轴长度的增加与高度近视情况下,后巩膜葡萄肿相应出现而变得更薄,并且往往因为力的传导而使角膜存在使周围组织被牵拉的作用

表3 不同眼轴长角膜生物力学相关参数的比较

参数	22~24mm	24~26mm	>26mm	F	P
A-length1 (mm)	1.76±0.10	1.76±0.10	1.76±0.07	0.01	1.00
A-length2 (mm)	1.78±0.24	1.74±0.33	1.66±0.36	1.12	0.30
Vin (m/s)	0.14±0.03	0.15±0.02	0.15±0.02	2.42	0.09
Vout (m/s)	-0.33±0.09	-0.37±0.07	-0.42±0.10	14.13	<0.01
PD (mm)	4.23±1.13	4.47±1.25	4.54±1.33	0.24	0.76
HC-radius (mm)	7.21±1.17	7.20±1.00	7.00±1.20	1.23	0.35
DA (mm)	1.11±0.13	1.18±0.14	1.27±0.15	13.76	<0.01
CCT (μm)	541.91±34.23	526.85±32.27	521.23±32.35	5.12	0.01
A-time1 (ms)	7.31±0.37	7.21±0.27	7.32±0.40	2.43	0.15
A-time2 (ms)	21.75±0.40	21.89±0.41	21.64±0.88	2.54	0.11
HC-time (ms)	17.34±0.42	17.03±0.85	17.18±0.92	1.34	0.12
IOP (mmHg)	12.31±2.45	13.14±3.65	13.23±3.95	7.23	<0.01
K (D)	44.35±0.34	44.00±1.72	44.58±1.59	2.46	0.10

注:峰距 (peak distance, PD);第一、第二压平长度 A-length1/A-length2;第一、第二压平速率 (first/second applanation velocity, Vin/Vout);最大压陷曲率 (highest concavity radius, HC-radius);最大形变幅度 (deformation amplitude, DA);中央角膜厚度 (central corneal thickness, CCT);第一、第二压平时间 A-time1/A-time2;最大压陷时间 (highest concavity time, HC-time);眼内压 (intraocular pressure, IOP)。

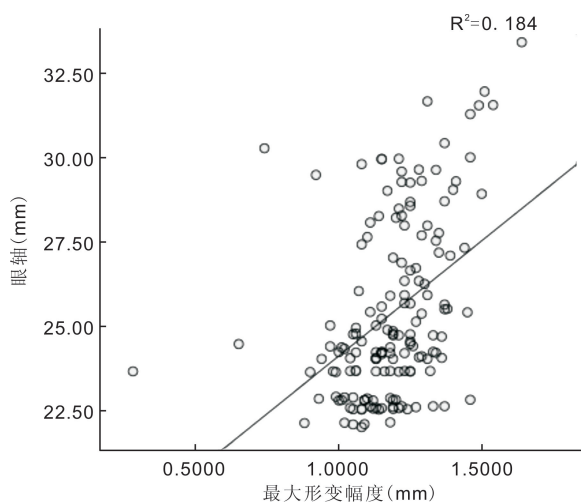


图2 眼轴长度与最大形变幅度呈线性正相关 ( $r=0.429, P<0.001$ )。

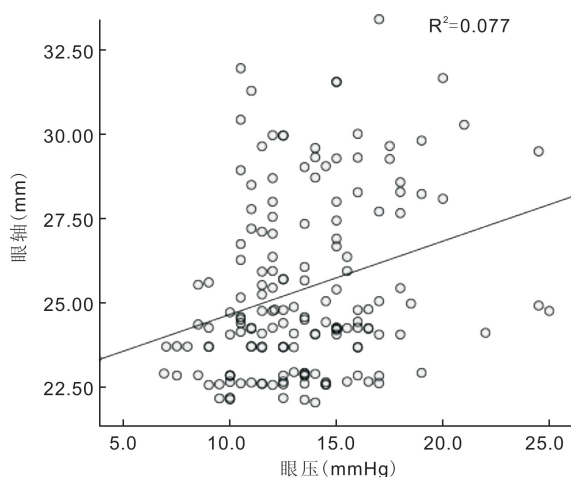


图4 眼轴长度与眼压呈线性正相关 ( $P<0.001$ )。

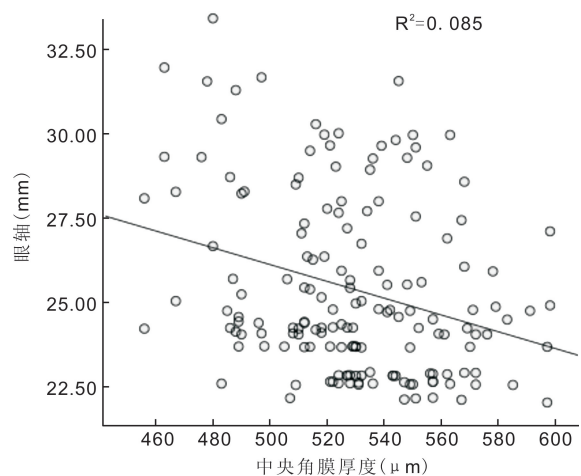


图3 眼轴长度与中央角膜厚度呈线性负相关 ( $r=-0.291, P<0.001$ )。

力,致使角膜基质层产生微妙的生理变化及某些角膜力学属性的改变。

测量角膜力学属性的方法主要分为两种方法,即离体测量和在体测量。离体测量方法虽然有很多种,但主要因为不能真正地反映在体角膜的力学属性,在应用上存在很大的限制。当前临床上常用的在体测量方法主要是眼反应分析仪 (ocular response analyzer, ORA),2005年 Luce 首先介绍了 ORA 的应用方法,它主要采用的是一种动态双向压平原理,通过测量眼压值从而可以获得在体角膜的力学相关参数<sup>[12]</sup>。关于该设备对健康人群和患各种眼部疾病人群的相关研究已有很多<sup>[13-14]</sup>,但有相关研究指出其所测量的参数并不能直接描述角膜的力学属性,McMonnies<sup>[15]</sup>指出 ORA 所测量的参数即角膜滞后量 (corneal hysteresis, CH) 是一种因变量而并不能代表角膜力学属性,且所测参数在某种程度上受角膜形态学的影响<sup>[16]</sup>,因而在眼科临床中的应用受到了一定的限制。最近出现了一种新的在体角膜变形评估测量仪,其主要是采

用超高速 Scheimpflug 拍摄技术与非接触眼压计相结合的设备——Corvis ST。有研究证明 Corvis ST 所测量的形变参数不受角膜形态学的影响,且更有利于描述研究人群的角膜生物力学性质<sup>[17-18]</sup>,以诊断鉴别圆锥角膜<sup>[19]</sup>,评估角膜交联术和屈光手术后角膜生物力学的改变<sup>[7-8]</sup>。

在本研究中,我们主要应用 Corvis ST 测量不同性别、不同眼轴长和角膜曲率的老年人角膜的力学属性,结果显示不同性别的老年人角膜的力学相关参数并不存在差异性。进一步按不同眼轴长和不同角膜曲率进行分组来比较,结果显示在不同角膜曲率组间的比较只有第一压平长度和第二压平长度存在明显的差异( $P < 0.05$ )。第一次压平长度是角膜在气压脉冲的作用下第一次压平时,角膜前表面压平部分的长度。角膜曲率越大,角膜越陡峭,需要更大的力量来压平,在同一气压脉冲下角膜达第一次压平时,第一压平长度越小。而第二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,在此过程中的作用力包括角膜本身的黏弹性、眼内压和逐渐减小消失的气流作用,角膜曲率越大,也许会导致角膜本身的黏弹性降低,角膜在返回原始状态时所受的回弹力相对小,导致第二压平长度越短。由此可以推测,角膜曲率有可能是使角膜力学属性发生改变的角膜相关参数。有报道角膜中央厚度与角膜力学属性参数的相关性要比角膜曲率与角膜力学属性参数的相关性要强<sup>[20-22]</sup>。但是本研究中对不同角膜曲率组间的角膜厚度进行比较,组间并不存在差异性,所以不同角膜曲率组间的角膜生物力学参数存在差异性是由于角膜曲率不同而导致的。因此对于角膜力学属性的相关研究应该考虑角膜曲率这一因素。

以上研究中发现,当角膜曲率不同时角膜生物力学相关形变参数也会发生改变,因此在进一步探讨眼轴长度对角膜力学属性影响时,我们对三个不同眼轴长度组的角膜曲率进行了比较性,发现三组不同眼轴长度的角膜曲率并不存在差异( $F = 2.36, P = 0.10$ )。因此排除了在进行眼轴长度对角膜力学属性影响研究中角膜曲率这一因素的差异,在进行不同眼轴长度组间角膜力学属性相关参数的比较中发现,随着三组眼轴长度的增加,其中央角膜厚度会随之变薄,三组间存在明显的差异,并且通过相关分析得出眼轴与中央角膜厚度呈线性负相关。因此从研究结果中我们可以推测,随着眼轴长度的增加,眼球整体扩张,角膜厚度会呈现出随之变薄的趋势。有相关研究得出相似的结论,当眼轴相对较长时,由于眼球随着眼轴长度的增加而发生扩张性的变化,其角膜也会相应地变薄<sup>[7]</sup>。从研究结果中还可以看出,随着眼轴长度的增加,最大形变幅度也会相应变大,特别是 AL 在 22~24mm 间和 AL>26mm 两组比较,及 AL 在 22~24mm 间和 AL 在 24~26mm 两组比较中存在明显的差异。随眼轴长度的增加,角膜厚度会相应变薄,角膜在发生形变过程中其抵抗力也会变小,从而使得最大压陷幅度变大。而且在相关性分析中发现,最大压陷幅度与眼轴呈线性正相关。最大形变幅度是角膜发生最大形变时角膜凹陷的深度,具有较高的重复性和再现率,与角膜厚度呈现出负相关性,其值越大表明角膜厚度越薄,生物力学性质相对较弱,具有区分异常眼角膜和正常眼角膜的潜力,被认为能够反映角膜力学属性的最可

靠参数<sup>[11]</sup>。因此我们可以推测,随着眼轴长度的增加,角膜厚度会随之变薄,角膜在发生形变过程中抵抗力变小而越容易发生形变。也有相关研究发现,在圆锥角膜疾病中角膜厚度变薄,角膜的抗压抵抗力也会随之变弱,而使得角膜在发生形变过程中最大形变幅度变大<sup>[23]</sup>,从另一角度验证了随着角膜厚度的变薄,角膜的力学属性会相应变弱。在本研究中还发现随着眼轴的增长,眼压值也会随之增高。特别是 AL 在 22~24mm 之间和 AL>26mm 两组比较,及 AL 在 22~24mm 之间和 AL 在 24~26mm 两组比较中,差异有统计学意义。有学者研究结果与之相似,随着眼轴变长,眼内压呈现出随之增高的趋势,而且当眼轴长度超过 26mm 时,眼压增高的幅度最大<sup>[24]</sup>。在本研究中的相关分析中也证实了这一点,眼轴长度与眼压值呈现出线性正相关关系。在角膜发生最大变形后,因为作用于角膜的脉冲气压的消失和作用于角膜后表面眼压的反向作用力及角膜本身的黏弹性,使角膜回到测量开始时的状态,在这一过程中角膜处于第二次压平时会有一个反向的速度即第二压平速度。在本研究的结果中显示,三组不同眼轴长度的第二次压平速度随着眼轴长度的增加而变大,且三组之间存在明显的统计学差异,在相关性分析中也呈现出眼轴长度与第二压平速度呈线性负相关。此现象也进一步证实了随着眼轴长度的增加,眼内压值也会随之变大,而且随角膜厚度的变薄也会使得角膜本身力学属性黏弹性相对变弱,因此当角膜返回初始状态时,其作用力变大,经历第二次压平状态的速度也会相应变大。从以上研究中可以得出,随着眼轴长度的增加,角膜生物力学属性会发生相应的变化,且眼压值也会相应变高。

本项研究主要应用 Corvis ST 分析探讨老年人群不同角膜曲率及眼轴长度的角膜在发生变形过程角膜力学参数有何差异,不同眼轴及角膜曲率的角膜力学属性有何特点。研究结果证实,角膜曲率和眼轴可能是影响角膜生物力学的角膜相关参数。当眼轴长度变长时,角膜厚度可能会随之变薄,而角膜也会相应变得更容易发生形变,眼压也会随着眼轴的变长而增高。因此我们可以推测不同角膜曲率和不同眼轴长度的老年人角膜生物力学性质是不同的。在探讨白内障手术切口构筑是否受到患者自身因素的影响时,我们是否应该考虑其角膜曲率和眼轴长度的不同,并且在进一步探讨不同角膜曲率和眼轴长度的老年人进行白内障手术后眼球完整性是否遭到破坏,整体生物力学是否变化,本研究为这些问题奠定了一定的临床数据基础,并为我们以后进一步的临床研究指引了方向。

#### 参考文献

- 1 Galgauskas S, Norvydaite D, Krasauskaite D, et al. Age-related changes in corneal thickness and endothelial characteristics. *Clin Interv Aging* 2013;8:1445-1450
- 2 Tian L, Wang D, Wu Y, et al. Corneal biomechanical characteristics measured by the corvis scheimpflug technology in eyes with primary open-angle glaucoma and normal eyes. *Acta Ophthalmol* 2016;94(5):e317-324
- 3 Wei SS, Li Y, Li J, et al. Corneal biomechanical properties in keratoconic and normal eyes. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2016;52(9):669-673

- 4 Lenk J, Hausteim M, Terai N, *et al.* Characterization of Ocular Biomechanics in Pellucid Marginal Degeneration. *Cornea* 2016;35(4):506-509
- 5 Nemeth G, Hassan Z, Csutak A, *et al.* Repeatability of ocular biomechanical data measurements with a Scheimpflug-based noncontact device on normal corneas. *J Refract Surg* 2013;29(8):558-563
- 6 Reznicek L, Muth D, Kampik A, *et al.* Evaluation of a novel Scheimpflug-based non-contact tonometer in healthy subjects and patients with ocular hypertension and glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2013;97(11):1410-1414
- 7 Shen Y, Chen Z, Knorz MC, *et al.* Comparison of corneal deformation parameters after SMILE, LASEK, and femtosecond laser-assisted LASIK. *J Refract Surg* 2014;30(5):310-318
- 8 Tomita M, Mita M, Huseynova T. Accelerated versus conventional corneal collagen crosslinking. *J Cataract Refract Surg* 2014;40(6):1013-1020
- 9 Hong J, Xu J, Wei A, *et al.* A new tonometer - the corvis ST tonometer; clinical comparison with noncontact and goldmann applanation tonometers. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54(1):659-665
- 10 Valbon BF, Ambrosio R Jr, Fontes BM, *et al.* Effects of age on corneal deformation by non-contact tonometry integrated with an ultra-high-speed (UHS) scheimpflug camera. *Arq Bras Oftalmol* 2013;76(4):229-232
- 11 Hon Y, Lam AKC. Corneal deformation measurement using scheimpflug noncontact tonometry. *Optom Vis Sci* 2013;90(1):E1-E8
- 12 Rio-Cristobal A, Martin R. Corneal assessment technologies; current status. *Surv Ophthalmol* 2014;59(6):599-614
- 13 Terai N, Raiskup F, Hausteim M, *et al.* Identification of biomechanical properties of the cornea: the ocular response analyzer. *Curr Eye Res* 2012;37(7):553-562
- 14 Kara N, Altinkaynak H, Baz O, *et al.* Biomechanical evaluation of cornea in topographically normal relatives of patients with keratoconus. *Cornea* 2013;32(3):262-266
- 15 McMonnies CW. Assessing corneal hysteresis using the ocular response analyzer. *Optom Vis Sci* 2012;89(3):E343-349
- 16 Hurmeric V, Sahin A, Ozge G, *et al.* The relationship between corneal biomechanical properties and confocal microscopy findings in normal and keratoconic eyes. *Cornea* 2010;29(6):641-649
- 17 Tejwani S, Shetty R, Kurien M, *et al.* Biomechanics of the cornea evaluated by spectral analysis of waveforms from ocular response analyzer and corvis-ST. *PLoS One* 2014;9(8):e97591
- 18 Lanza M, Cennamo M, Iaccarino S, *et al.* Evaluation of corneal deformation analyzed with a Scheimpflug based device. *Cont Lens Anterior Eye* 2015;38(2):89-93
- 19 Ali NQ, Patel DV, McGhee CNJ. Biomechanical responses of healthy and keratoconic corneas measured using a noncontact scheimpflug-based tonometer. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014;55(6):3651-3659
- 20 Franco S, Lira M. Biomechanical properties of the cornea measured by the Ocular Response Analyzer and their association with intraocular pressure and the central corneal curvature. *Clin Exp Optom* 2009;92(6):469-475
- 21 Sanchez-Naves J, Furfaro L, Piro O, *et al.* Impact and permanence of LASIK-induced structural changes in the cornea on pneumotometric measurements; contributions of flap cutting and stromal ablation. *J Glaucoma* 2008;17(8):611-618
- 22 Oncel B, Dinc UA, Gorgun E, *et al.* Diurnal Variation of Corneal Biomechanics and Intraocular Pressure in Normal Subjects. *Eur J Ophthalmol* 2009;19(5):798-803
- 23 Tian L, Huang YF, Wang LQ, *et al.* Corneal biomechanical assessment using corneal visualization scheimpflug technology in keratoconic and normal Eyes. *J Ophthalmol* 2014;2014:147516
- 24 陶雁亭. 人眼轴长度与眼内压的相关性研究. 国际眼科杂志 2012;12(4):744-745