

# Corvis ST 评估近视患者角膜生物力学参数及相关影响因素

杨丹丹, 尹禾, 卢丽芳

引用: 杨丹丹, 尹禾, 卢丽芳. Corvis ST 评估近视患者角膜生物力学参数及相关影响因素. 国际眼科杂志 2023; 23(10): 1754-1759

基金项目: 武汉市卫健委科研基金青年项目 (No. WX21Q34)

作者单位: (430014) 中国湖北省武汉市, 武汉艾格眼科医院屈光手术科

作者简介: 杨丹丹, 硕士, 主治医师, 研究方向: 屈光手术。

通讯作者: 尹禾, 副主任医师, 研究方向: 屈光手术. yinhe1998@163.com

收稿日期: 2023-04-10 修回日期: 2023-08-30

## 摘要

目的: 利用可视化角膜生物力学分析仪 (Corvis ST) 评估不同近视患者角膜生物力学参数的差异及其与眼部其他生物测量参数的相关性。

方法: 选取 2021-05/12 就诊于武汉艾格眼科医院角膜屈光手术科的近视患者 132 例, 均取右眼数据。根据等效球镜度数 (SE) 将受检者分为中低度近视 ( $-0.50 \sim -6.00D$ ), 高度近视 ( $> -6.00 \sim < -8.00D$ ), 超高度近视 ( $\geq -8.00D$ )。使用 Corvis ST 测量角膜生物力学形变基础参数包括: 包括最大变形幅度 (DA)、最大压陷反向曲率半径 (HCR)、最大压陷峰距 (PD); 整合参数包括: 第一次压平时角膜硬度参数 (SP-A1)、综合半径 (IR)、2mm 处形变幅度的比值 (DA ratio)、角膜厚度变异率 (ARTh)、Corvis ST 生物力学指数 (CBI); 测量眼部其他生物参数包括: SE、眼压 (IOP)、眼轴长度 (AL)、中央角膜厚度 (CCT)、水平角膜直径 (WTW)、视神经纤维层厚度 (RNFL)。分别比较三组近视患者角膜生物力学参数的差异, 并进一步分析三组近视患者角膜生物力学参数与眼部其他生物测量参数及年龄的相关性。

结果: 中低度、高度、超高度近视组的 SP-A1 分别为  $106.8 \pm 16.2$ 、 $115.6 \pm 21.9$ 、 $106.9 \pm 11.5$ , 高度近视组 SP-A1 高于中低度、超高度近视组 (均  $P < 0.05$ )。所有角膜生物力学与 CCT 均有显著相关性 ( $P < 0.01$ ); 除 ARTh 外, 其余角膜生物力学与 IOP 均有相关性 ( $P < 0.05$ ); AL 与 PD 呈显著正相关 ( $r = 0.270, P = 0.002$ ), 与 HCR 呈较弱的正相关 ( $r = 0.177, P = 0.043$ ), 与 IR 呈较弱的负相关 ( $r = -0.183, P = 0.036$ ); WTW 与 PD、DA、DA ratio 均呈正相关 ( $r = 0.363, P < 0.001$ ;  $r = 0.252, P = 0.003$ ;  $r = 0.200, P = 0.02$ ); 角膜生物力学参数与年龄、SE、RNFL 均无相关性。

结论: 高度近视患者的角膜硬度高于中低度和超高度近视患者, IOP、CCT 均为影响角膜生物力学的重要因素。部

分生物力学参数和 AL、WTW 也有一定的相关性, 随着眼轴的增长, 角膜形变范围 PD 越大, HCR 变大, IR 变小, 但后两者显著性不强; 角膜直径越大, 角膜形变幅度越大。临床中需重视超高度近视患者角膜生物力学参数。

关键词: 角膜生物力学; 近视; 眼轴长度; 可视化角膜生物力学分析仪 (Corvis ST)

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2023.10.29

## Evaluation of corneal biomechanical parameters and related influencing factors in myopic patients by Corvis ST

Dan-Dan Yang, He Yin, Li-Fang Lu

Foundation item: Youth Project of Wuhan Municipal Health Commission Research Fund (No. WX21Q34)

Department of Refractive Surgery, Eye Good Ophthalmic Hospital, Wuhan 430014, Hubei Province, China

Correspondence to: He Yin. Department of Refractive Surgery, Eye Good Ophthalmic Hospital, Wuhan 430014, Hubei Province, China. yinhe1998@163.com

Received: 2023-04-10 Accepted: 2023-08-30

## Abstract

• AIM: To assess the differences in corneal biomechanical parameters and their correlation with other ocular biometric parameters in myopic patients using a corneal visualisation scheimpflug technology (Corvis ST).

• METHODS: A total of 132 myopic patients who received treatment in the department of refractive surgery of Eyegood Ophthalmic Hospital from May to December 2021 were selected, and the data of right eye were taken. The subjects were classified into low and moderate myopia ( $-0.50$  to  $-6.00D$ ), high myopia ( $> -6.00D$  to  $< -8.00D$ ), and super high myopia ( $\geq -8.00D$ ) according to the spherical equivalent (SE). The basic parameters of corneal biomechanical deformation measured with Corvis ST included the amount of corneal displacement at highest degree of concavity (DA), radius of curvature at highest concavity (HCR), and distance between the two peaks of the cornea at highest concavity (PD); stiffness parameters at applanation 1 (SP-A1), integrated radius (IR), deformation amplitude ratio (DA ratio), Ambrosio relational thickness horizontal (ARTh), Corvis

biomechanical index (CBI). Other ocular biometric parameters measured included SE, intraocular pressure (IOP), axial length (AL), central corneal thickness (CCT), white-to-white (WTW) and retinal nerve fiber layer (RNFL) thickness. The differences in corneal biomechanical parameters were compared among the three groups of myopic patients, and the correlation between corneal biomechanical parameters and other ocular biometric parameters and age was further analyzed.

• **RESULTS:** The SP-A1 in the low and moderate, high, and super high myopia groups were  $106.8 \pm 16.2$ ,  $115.6 \pm 21.9$ , and  $106.9 \pm 11.5$ , respectively. The SP-A1 in the high myopia group was higher than that in the low and moderate and severe myopia groups (all  $P < 0.05$ ). All corneal biomechanics were significantly correlated with CCT ( $P < 0.01$ ); all corneal biomechanics were correlated with IOP except ARTh ( $P < 0.05$ ); AL was significantly and positively correlated with PD ( $r = 0.270$ ,  $P = 0.002$ ), weakly and positively correlated with HCR ( $r = 0.177$ ,  $P = 0.043$ ), and weakly and negatively correlated with IR ( $r = -0.183$ ,  $P = 0.036$ ); WTW was positively correlated with PD, DA and DA ratio ( $r = 0.363$ ,  $P < 0.001$ ;  $r = 0.252$ ,  $P = 0.003$ ;  $r = 0.200$ ,  $P = 0.02$ ); there was no correlation between corneal biomechanical parameters and age, SE, and RNFL.

• **CONCLUSION:** Corneal stiffness was higher in high myopia patients than in patients with low to moderate and super high myopia. IOP and CCT were both important factors affecting corneal biomechanics. Some of the biomechanical parameters also have certain correlation with AL and WTW. As the growth of axial length, the PD of corneal deformation and HCR were larger, and IR was smaller, but HCR and IR had little significance; the longer the WTW, the greater the corneal deformation amplitude. In clinical practice, attention should be paid to the corneal biomechanical parameters in patients with super high myopia.

• **KEYWORDS:** corneal biomechanics; myopia; axial length; corneal visualisation Scheimpflug technology (Corvis ST)

**Citation:** Yang DD, Yin H, Lu LF. Evaluation of corneal biomechanical parameters and related influencing factors in myopic patients by Corvis ST. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023; 23(10):1754-1759

## 0 引言

近 20 年,全球近视患者的比例不断增高,特别是青少年患者。有研究预测到 2050 年,全球近视患者将增长到 9.38 亿,占总人口数的 9.8%<sup>[1]</sup>。而我国是一个典型的近视高发的国家,特别是高度近视,已呈现出年轻化趋势。据统计我国青少年高度近视患病率 6.69%~38.4%<sup>[2-4]</sup>。高度近视因为其眼轴长、巩膜组织重塑,其弹性降低,容易导致后巩膜葡萄膜肿、视网膜病变、视网膜脱离、青光眼等

严重并发症,是目前导致视力损害的主要原因之一。有研究表明,角膜、巩膜都是由连续的细胞外基质组成,它们之间的生物力学存在潜在的相关性,角膜的弹性能在一定程度上反映出巩膜的生物力学<sup>[5]</sup>。近年来,可视化角膜生物力学分析仪(Corvis ST),一种新型的动态 Scheimpflug 分析装置,已广泛用于临床。它不仅能测定多个反映角膜形变的参数,而且能够记录角膜受力时的动态变化过程<sup>[6-7]</sup>。有研究证实<sup>[8]</sup>,高度近视有着更大的形变幅度和更小的曲率半径,也有研究<sup>[9]</sup>证实角膜形变幅度与近视没有相关性。目前对于不同近视患者的角膜生物力学特征,并没有统一结论。国内关于不同近视患者角膜生物力学特征的研究也偏少,本次研究主要针对近视患者,采用 Corvis ST 探讨不同近视患者角膜生物力学参数间的差异,并进一步分析其与其他眼部生物测量参数及年龄间的相关性,从而深入了解不同近视患者角膜生物力学的特征。这不仅为屈光手术术前的综合评估提供更全面、更科学的依据,而且也有利于我们了解高度近视这一特殊群体的眼部特征,有助于我们在临床工作中做好高度近视的防控。

## 1 对象和方法

1.1 对象 选取 2021-05/12 就诊于武汉艾格眼科医院屈光手术科的近视患者 132 例 132 眼作为研究对象。纳入标准:(1)年龄 18~45 岁;(2)眼压  $\leq 21$  mmHg;(3)配戴角膜塑形镜者需要停戴 3mo 以上,硬性接触镜配戴者至少停戴 3wk,软性接触镜配戴者至少停戴 1wk。排除标准:(1)有眼部器质性病变、圆锥角膜、视神经病变、白内障、干眼综合征、青光眼、青光眼家族史患者及其他眼部疾病史;(2)有糖尿病、高血压病、免疫缺陷等疾病以及妊娠和哺乳期患者;(3)依从性较差患者;(4)有眼部手术史患者。根据等效球镜度数(SE)将受检者分为中低度近视( $-0.50 \sim -6.00$ D) 48 例 48 眼,高度近视( $> -6.00$ D  $\sim < -8.00$ D) 51 例 51 眼,超高度近视( $\geq -8.00$ D) 33 例 33 眼。本研究遵守《赫尔辛基宣言》,并已通过医院伦理委员会的论证和同意,所有患者均已签订了知情同意书。

## 1.2 方法

1.2.1 一般检查 常规视力、眼内压(IOP)、综合验光、最佳矫正视力检查,应用 Pentacam 测量中央角膜厚度(CCT),水平角膜直径(WTW),IOL Master 500 测量眼轴长度(AL),光学相干断层扫描仪(CIRRUS HD-OCT 5000)测量视神经纤维层厚度(RNFL),Corvis ST 进行角膜生物力学参数的测量。

1.2.2 角膜生物力学检查 应用 Corvis ST 对角膜生物力学参数进行测量。记录的参数包括:最大凹陷时的形变幅度(the amount of corneal displacement at highest degree of concavity, DA)、最大压陷时的反向曲率半径(radius of curvature at highest concavity, HCR)、最大凹陷时的顶点距离(distance between the two peaks of the cornea at highest concavity, PD)、第一次压平时间角膜硬度值(stiffness parameters at applanation 1, SP-A1)、综合半径(inverse concave radius, IR)、形变比例(deformation amplitude ratio,

DA ratio)、角膜厚度变异(ambrosio relational thickness horizontal, ARTh)、Corvis ST 生物力学指数(corvis biomechanical index, CBI)。所有受检者的检查均由同一位经验丰富的医师完成,重复3次测量,选择质量较好的结果作为最终测量值。

统计学分析:采用统计学软件 SPSS18.0 进行统计分析。三组间性别的比较采用卡方检验。计量资料的正态性分布检验采用 Kolmogorov-Smirnov 方法进行,符合正态分布以  $\bar{x}\pm s$  表示,不同近视患者各组间差异性的比较采用单因素方差分析,组间两两比较采用 LSD-t 检验。Corvis ST 测量不同近视患者角膜生物力学参数与眼部其他生物参数及年龄的相关性分析采用 Pearson 相关分析,  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 三组患者基本信息** 本研究共纳入近视患者 132 例 132 眼,均取其右眼,其中男 67 例,女 65 例。三组的平均年龄、IOP、CCT、WTW 差异无统计学意义(均  $P>0.05$ )。三组间 SE、AL、RNFL 差异均有统计学意义( $P<0.01$ ),见表 1。

**2.2 三组近视患者角膜生物力学参数的比较** 中低度、高度、超高度近视组的 SP-A1 分别为  $106.8\pm 16.2$ 、 $115.6\pm 21.9$ 、 $106.9\pm 11.5$ ,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。高度近视组 SP-A1 高于中低度、超高度近视组,差异有统计学意义(均  $P<0.05$ ),其余指标三组间差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 2。

**2.3 Corvis ST 角膜生物力学参数的相关性分析** 所有患者角膜生物力学参数与年龄、SE、AL、IOP、CCT、RNFL、WTW 的相关性分析见表 3。

**2.3.1 Corvis ST 角膜生物力学参数与年龄的相关性** 角膜生物力学参数与年龄均无相关性( $P>0.05$ )。

**2.3.2 Corvis ST 角膜生物力学参数与 SE 的相关性** 角膜生物力学参数与 SE 均无相关性( $P>0.05$ )。

**2.3.3 Corvis ST 角膜生物力学参数与 IOP 的相关性** 除 ARTh 外,其余角膜生物力学与 IOP 均有相关性( $P<0.05$ )。其中 PD、DA、IR、DA ratio、CBI 与 IOP 呈负相关( $r=-0.538, P<0.01; r=-0.566, P<0.01; r=-0.603, P<0.01; r=-0.700, P<0.01; r=-0.179, P=0.04$ ),HCR、SP-A1 与 IOP 呈正相关( $r=0.302, 0.508$ ,均  $P<0.01$ )。

**2.3.4 Corvis ST 角膜生物力学参数与 AL 的相关性** PD、HCR 与 AL 呈正相关( $r=0.270, P=0.002; r=0.177, P=0.043$ ),IR 与 AL 呈负相关( $r=-0.183, P=0.036$ ),其余角膜生物力学参数与 AL 无相关性(均  $P>0.05$ )。

**2.3.5 Corvis ST 角膜生物力学参数与 CCT 的相关性** 所有角膜生物力学参数与 CCT 均有相关性( $P<0.01$ )。其中 PD、DA、IR、DA ratio、CBI 与 CCT 呈负相关( $r=-0.307, -0.387, -0.607, -0.633, -0.338$ ,均  $P<0.01$ ),HCR、SP-A1、ARTh 与 CCT 呈正相关( $r=0.355, 0.548, 0.301$ ,均  $P<0.01$ )。

**2.3.6 Corvis ST 角膜生物力学参数与 RNFL 的相关性** 角膜生物力学参数与 RNFL 均无相关性( $P>0.05$ )。

**2.3.7 Corvis ST 角膜生物力学参数与 WTW 的相关性** PD、DA、DA ratio 与 WTW 均呈正相关( $r=0.363, P<0.01; r=0.252, P=0.003; r=0.200, P=0.021$ ),其余角膜生物力学参数与 WTW 无相关性(均  $P>0.05$ )。

## 3 讨论

角膜生物力学参数是屈光手术术前筛查圆锥角膜的重要参考依据,角膜屈光手术由于术后角膜厚度的变化,角膜生物力学参数也会发生改变。既往有研究报道角膜生物力学参数的改变和屈光术后屈光度的稳定有一定的相关性<sup>[10]</sup>。本次研究主要针对不同程度近视患者角膜生

表 1 三组患者基本资料的比较

组别	年龄 ( $\bar{x}\pm s$ ,岁)	性别 (男/女,例)	SE ( $\bar{x}\pm s$ ,D)	AL ( $\bar{x}\pm s$ ,mm)	IOP ( $\bar{x}\pm s$ ,mmHg)	CCT ( $\bar{x}\pm s$ , $\mu\text{m}$ )	RNFL ( $\bar{x}\pm s$ , $\mu\text{m}$ )	WTW ( $\bar{x}\pm s$ ,mm)
中低度近视组	23.8±6.0	25/23	-4.41±1.08	25.39±0.88	16.0±2.9	530.3±32.7	98.2±9.3	11.56±0.37
高度近视组	25.45±7.5	30/21	-6.79±0.48	26.46±0.62	16.7±2.5	537.9±26.3	91.7±8.2	11.64±0.41
超高度近视组	25.6±4.9	12/21	-8.96±1.11	26.60±0.87	16.8±2.1	534.2±33.4	92.5±7.8	11.60±0.34
F	1.135	4.57	252.38	31.28	1.26	0.76	7.97	0.65
P	0.32	0.10	<0.01	<0.01	0.29	0.47	<0.01	0.52

注:中低度近视:-0.50~-6.00D;高度近视:>-6.00D~<-8.00D;超高度近视 $\geq$ -8.00D。

表 2 三组近视患者角膜生物力学参数的比较

组别	PD(mm)	HCR(mm)	DA(mm)	SP-A1	IR	DA ratio	ARTh	CBI
中低度近视组	5.36±0.31	7.73±0.92	1.10±0.12	106.8±16.2	7.5±1.2	3.9±0.4	596.4±134.0	0.02±0.10
高度近视组	5.40±0.40	8.0±0.81	1.11±0.13	115.6±21.9	7.1±1.0	3.8±0.4	577.5±142.5	0.01±0.03
超高度近视组	5.48±0.27	7.99±1.14	1.14±0.07	106.9±11.5	7.6±1.0	3.9±0.4	563.0±129.8	0.03±0.12
F	1.33	1.24	1.56	3.88	2.35	1.15	0.61	1.0
P	0.27	0.29	0.21	0.02	0.10	0.32	0.54	0.35

注:中低度近视:-0.50~-6.00D;高度近视:>-6.00D~<-8.00D;超高度近视 $\geq$ -8.00D。

表3 角膜生物力学参数与年龄、SE、IOP、AL、CCT、RNFL、WTW 的相关性分析

参数	年龄		SE		IOP		AL		CCT		RNFL		WTW	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
PD	0.083	0.577	-0.112	0.200	-0.538	<0.01	0.270	0.002	-0.307	<0.01	0.013	0.880	0.363	<0.01
HCR	0.148	0.317	0.000	0.999	0.302	<0.01	0.177	0.043	0.355	<0.01	-0.028	0.747	-0.121	0.166
DA	-0.028	0.849	-0.162	0.064	-0.566	<0.01	0.099	0.258	-0.387	<0.01	0.010	0.909	0.252	0.003
SP-A1	0.109	0.459	-0.022	0.806	0.508	<0.01	0.132	0.132	0.548	<0.01	-0.121	0.166	-0.169	0.052
IR	0.103	0.486	-0.071	0.420	-0.603	<0.01	-0.183	0.036	-0.607	<0.01	0.065	0.459	0.163	0.061
DA ratio	0.057	0.700	-0.908	0.266	-0.700	<0.01	-0.121	0.166	-0.663	<0.01	0.048	0.586	0.200	0.021
ARTh	0.046	0.598	0.119	0.176	0.080	0.365	0.020	0.819	0.301	<0.01	-0.058	0.511	0.006	0.943
CBI	-0.005	0.954	-0.098	0.266	-0.179	0.040	-0.108	0.218	-0.338	<0.01	-0.060	0.495	-0.052	0.553

物力学特征,比较他们之间的差异,并分析影响角膜生物力学的相关因素。SP-A1是由Corvis ST获得的整合参数之一,被视为评估角膜硬度的重要参数<sup>[11-12]</sup>。SP-A1在角膜生物力学参数中具有一定的特异性,例如在圆锥角膜的研究中,发现圆锥角膜患者的SP-A1低于正常人<sup>[11,13]</sup>;也有研究发现全飞秒激光微小切口透镜取出术(SMILE)术后患者SP-A1高于飞秒激光辅助的角膜磨镶术(FS-LASIK)术后,从而提出SMILE术后角膜生物力学的稳定性优于FS-LASIK<sup>[10,14]</sup>。SP-A1值越大,角膜硬度越高。通过本次研究我们发现,高度近视患者的角膜硬度高于中低度近视患者和超高度近视患者,这不同于以往的研究,在印度和国内的一些研究中并未发现不同近视患者SP-A1存在显著差异<sup>[15-16]</sup>。也有研究指出SP-A1与角膜曲率、角膜前表面高度、角膜厚度、眼压等有一定的相关性<sup>[12,17]</sup>,虽然此研究三组近视患者CCT、IOP均没有显著差异,但角膜曲率和前表面高度的差异,可能是影响不同近视患者SP-A1大小的原因之一。另外,高度近视患者因为巩膜胶原纤维束的直径缩小,巩膜明显变薄<sup>[18]</sup>。这样,巩膜的力学也会相应减弱<sup>[19]</sup>。由于角膜基质是巩膜的延续,巩膜的扩张可能导致角膜硬度的降低,而变形性增加<sup>[20]</sup>。这也可能是超高度近视患者角膜硬度偏低的原因之一。目前关于角膜生物力学的研究,由于受不同年龄、人群、屈光度等多种因素的影响,其并没有统一结论。本次研究,有一点值得关注,相比于高度近视,超高度近视患者的角膜硬度较其偏软。这是否意味着角膜硬度SP-A1的变化预示着近视进展的风险?另外,很多研究也证实了屈光术后角膜生物力学的改变,有引起圆锥角膜的风险。我们术前在严格筛查圆锥角膜的同时,是否能根据不同近视患者角膜生物力学参数的不同,来选择合适的术式,从而可以降低术后圆锥角膜的发生?特别是超高度近视患者,因术中切削的角膜厚度相对较多,是否生物力学的改变会更大?从而导致术后屈光状态的不稳定,同时也增加了角膜扩张的风险。因此,更好地了解角膜生物力学在高度近视的防控和角膜屈光手术领域具有重要意义。这还需要我们在今后的工作中继续总结归纳,深入研究。

通过本次研究,发现角膜生物力学参数和IOP、CCT有显著的相关性,部分参数和AL也有一定的相关性。既

往大部分的研究也证实了IOP和CCT是影响角膜生物力学参数主要的两大因素<sup>[21-23]</sup>。本次研究除ARTh与IOP没有相关性,与CCT呈正相关外,其余参数与IOP、CCT均有显著的相关性。其中PD、DA、IR、DA ratio、CBI与IOP、CCT呈显著负相关,HCR、SP-A1与IOP、CCT呈显著正相关。在外界定量压力脉冲的作用下,当角膜厚度、眼压越低时,角膜达到最大凹陷时,最大压陷峰距PD、形变幅度DA越大,反向曲率半径HCR越小,角膜越容易发生形变,这与之前的很多研究结果相同<sup>[24-25]</sup>。同时,在外界定量压力脉冲的作用下,当角膜厚度、眼压越低时,IR、DA ratio、CBI越大,SP-A1越小,角膜越容易发生形变,这与王丹等<sup>[21]</sup>的研究结果相同。IR、DA ratio、CBI、SP-A1为角膜生物力学的联合参数,既往很多的研究也证实它们的特异性。因为IR代表着反向凹陷曲线下的面积,其越大,说明角膜的形变幅度越大,角膜越软。DA ratio值越大,意味着角膜中央较周边角膜越软。CBI和SP-A1都是直接反映角膜硬度的指标,当CBI>0.5,为划定的界限。有研究统计CBI可以正确诊断98.8%的圆锥角膜,具有100%灵敏度,98.4%的特异性<sup>[26]</sup>。SP-A1更是被认为是衡量角膜硬度最重要的参数,但必须排除IOP、CCT的影响,本次研究三组患者IOP、CCT均无统计学差异,SP-A1越小意味着角膜硬度偏小。

本次研究结果表明角膜的压平范围PD与AL有显著的正相关性,这意味着随着眼轴的增长,角膜的压平范围越大,越容易发生形变,从一定程度上反映了角膜的硬度与眼轴的相关性。Yu等<sup>[27]</sup>通过对不同近视患者的研究,发现DA与AL呈显著正相关,提出近视患者随着眼轴的增长,角膜越易发生形变。但本次研究也发现HCR与AL有较弱的正相关性,IR与AL有较弱的负相关性。也就是随着眼轴的增长,HCR变大,IR变小,这也意味着角膜形变越小。综上所述,我们发现角膜生物力学与眼轴的相关性颇为复杂,还需要我们在今后的研究中继续探索。

本次研究并未发现角膜生物力学参数与年龄有相关性,这与国内学者沈如月等<sup>[26]</sup>的研究结果相同。既往有些研究发现DA与年龄呈正相关,年龄越大,角膜形变幅度越大,角膜越软<sup>[21,27]</sup>。也有研究提出SP-A1和年龄呈正相关,也就是随着年龄的增长,角膜硬度增大<sup>[12,28]</sup>,这似乎也正好解释了为什么圆锥角膜通常发生于青年患者,

两种观点刚好截然相反。因本次研究选取的患者年龄跨度不够大,仅包含18~40岁的患者,缺少低龄幼儿和老年患者的数据,未得出明显的相关性。但角膜生物力学与年龄的相关性仍值得我们继续关注。

本次研究并未发现角膜生物力学参数与SE存在相关性。这与国内等学者的研究结果相同<sup>[29-30]</sup>,以往也有研究证实角膜生物力学和SE没有相关性<sup>[17]</sup>,这可能是由于单纯的SE的增加不会改变角膜的生物力学。

在对于角膜直径的相关性研究中,我们发现WTW与PD、DA、DA Ratio呈正相关,说明在眼压和角膜厚度无差异时,角膜直径的大小可以影响Corvis ST所记录的角膜形变幅度,角膜直径越大,PD、DA、DA Ratio值越大,提示角膜越容易发生形变。这与国内学者王丹等<sup>[21]</sup>的结果有所不同,她们的研究结果提示角膜生物力学与形变参数没有相关性。考虑到本次选取的角膜直径均值在11.6mm左右,大于王丹等<sup>[21]</sup>选取的角膜直径,国外学者Smolek<sup>[31]</sup>认为,角膜中央的胶原纤维板层数量及排列较周边角膜少且松散,那么当角膜直径增大时,基质胶原排列相对紊乱及松散时,区域硬度将更低,角膜就发生更大的形变,所以本次结果的差异可能和人群的选择有一定关系。不过目前国内外关于角膜生物力学与角膜直径的研究较少,缺少一些对比,还值得我们继续探索。

本次研究并未发现角膜生物力学参数与RNFL存在相关性。尽管本次研究显示中低度近视组RNFL的厚度明显高于高度近视和超高度近视组,但角膜生物力学参数与RNFL厚度却没有相关性,这与沈如月等<sup>[26]</sup>的研究结果部分相同。本次研究观察的均为平均RNFL厚度,在沈如月等<sup>[26]</sup>的研究中也表明高度近视角膜生物力学参数与平均RNFL厚度没有相关性,但发现角膜压平范围与下方RNFL厚度呈负相关,从而提出角膜的弹性在一定程度上可以反映视神经受损的程度。既往的大部分研究都已经证实,与正常眼相比,高度近视眼的RNFL明显变薄<sup>[32]</sup>。引起高度近视RNFL变薄的原因也很多:(1)由于高度近视眼轴拉长,巩膜重塑的过程中,引起后巩膜葡萄膜肿、视盘倾斜对视神经纤维束的牵拉;(2)和筛板的形态和结构也有一定的关系。本次选取的样本是不同近视的患者,并没有单独对高度近视和超高度近视做相关性分析,是否角膜生物力学参数对RNFL在高度近视或超高度近视组会有一定的影响?这还需要我们在今后的学习和工作中做更深入、细致的研究,才能进一步证实高度近视生物力学参数和RNFL厚度的相关性。

当然本次研究也有较多不足之处:(1)样本量较少,年龄跨度不够大,缺少低龄和高龄患者的研究。更多的样本量说服力更强,适当拉开年龄的跨度,可以更全面地反映不同年龄段的患者角膜生物力学的特征。(2)并未对不同近视患者的相关性进行单独分析,是否会存在一定的差异性?(3)本研究缺少与正视眼的对比。

综上所述,本次研究对不同近视患者角膜生物力学特异性比较强的3个基础参数和5个整合参数进行了全面

的比较分析,认为高度近视患者的角膜硬度高于中低度和超高度近视患者,IOP、CCT均为影响角膜生物力学的重要因素。部分生物力学参数和AL、WTW也有一定的相关性,随着AL的增长,角膜形变范围PD越大,HCR变大,IR变小,但后者显著性不强;角膜直径越大,角膜形变幅度越大。我们需重视超高度近视患者生物力学参数,无论是在高度近视的防控还是屈光手术前,都有着重要的意义。角膜生物力学特性颇为复杂,受多种因素的影响,仍有很多未知的因素,需要我们在今后的学习和工作中,积累更多的病例,做更深入的研究。

#### 参考文献

- 1 Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology* 2016;123(5):1036-1042
- 2 Li Y, Liu J, Qi PC. The increasing prevalence of myopia in junior high school students in the Haidian District of Beijing, China: a 10-year population-based survey. *BMC Ophthalmol* 2017;17(1):1-9
- 3 Sun J, Zhou JB, Zhao PQ, et al. High prevalence of myopia and high myopia in 5060 Chinese university students in Shanghai. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53(12):7504
- 4 Wang TJ, Chiang TH, Wang TH, et al. Changes of the ocular refraction among freshmen in National Taiwan University between 1988 and 2005. *Eye* 2009;23(5):1168-1169
- 5 Wells AP, Garway-Heath DF, Poostchi A, et al. Corneal hysteresis but not corneal thickness correlates with optic nerve surface compliance in glaucoma patients. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49(8):3262-3268
- 6 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
- 7 Lanza M, Cenflamo M, Iaccarino S, et al. Evaluation of corneal deformation analyzed with a Scheimpflug based device. *Cont Lens Anterior Eye* 2015;38(2):89-93
- 8 He M, Wang W, Ding H, et al. Corneal biomechanical properties in high myopia measured by dynamic scheimpflug imaging technology. *Optom Vis Sci* 2017;94(12):1074-1080
- 9 Matalia J, Francis M, Tejwani S, et al. Role of age and myopia in simultaneous assessment of corneal and extraocular tissue stiffness by air-puff applanation. *J Refract Surg* 2016;32(7):486-493
- 10 He SY, Luo YQ, Ye YM, et al. A comparative and prospective study of corneal biomechanics after SMILE and FS-LASIK performed on the contralateral eyes of high myopia patients. *Ann Transl Med* 2022;10(13):730
- 11 Roberts CJ, Mahmoud AM, Bons JP, et al. Introduction of two novel stiffness parameters and interpretation of air puff-induced biomechanical deformation parameters with a dynamic scheimpflug analyzer. *J Refract Surg* 2017;33(4):266-273
- 12 Zhang YH, Wang Y, Li LY, et al. Corneal stiffness and its relationship with other corneal biomechanical and nonbiomechanical parameters in myopic eyes of Chinese patients. *Cornea* 2018;37(7):881-885
- 13 Shang J, Shen Y, Jhanji V, et al. Comparison of Corneal Biomechanics in Post-SMILE, Post-LASEK, and Keratoconic Eyes. *Front Med (Lausanne)* 2021;8:695-697
- 14 Abd El-Fattah EA, El Dorghamy AA, Ghoneim AM, et al. Comparison of corneal biomechanical changes after LASIK and F-SMILE with CorVis ST. *Eur J Ophthalmol* 2021;31(4):1762-1770

- 15 Pirdanka O, Kenia V, Kenia R. Association between corneal biomechanical parameters and myopic refractive errors in young Indian individuals. *Taiwan J Ophthalmol* 2020;10(1):45-53
- 16 朱娅萍, 董开业, 孙曙光, 等. 新型角膜生物力学参数在不同程度近视眼中的特性分析. *国际眼科杂志* 2023;23(4):704-708
- 17 Lim L, Gazzard G, Chan YH, *et al.* Cornea biomechanical characteristics and their correlates with refractive error in Singaporean children. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49(9):3852-3857
- 18 McBrien NA, Jobling AI, Gentle A. Biomechanics of the sclera in myopia; extracellular and cellular factors. *Optom Vis Sci* 2009;86(1):E23-E30
- 19 Zhang CW, Tatham AJ, Abe RY, *et al.* Corneal hysteresis and progressive retinal nerve fiber layer loss in glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2016;166:29-36
- 20 Jones BE, Thompson EW, Hodos W, *et al.* Scleral matrix metalloproteinases, serine proteinase activity and hydrational capacity are increased in myopia induced by retinal image degradation. *Exp Eye Res* 1996;63(4):369-381
- 21 王丹, 王晓睿, 韦伟, 等. 近视患者 Corvis ST 角膜生物力学参数与眼部其他生物测量参数的相关分析. *眼科新进展* 2021;41(4):354-358
- 22 Salouti R, Bagheri M, Shamsi A, *et al.* Corneal parameters in healthy subjects assessed by corvis ST. *J Ophthalmic Vis Res* 2020;15(1):24-31
- 23 Huseynova T, Waring GO 4th, Roberts C, *et al.* Corneal biomechanics as a function of intraocular pressure and pachymetry by dynamic infrared signal and Scheimpflug imaging analysis in normal eyes. *Am J Ophthalmol* 2014;157(4):885-893
- 24 Lee R, Chang RT, Wong IYH, *et al.* Novel parameter of corneal biomechanics that differentiate normals from glaucoma. *J Glaucoma* 2016;25(6):e603-e609
- 25 Tian L, Wang DJ, 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-e324
- 26 沈如月, 叶聪, 梁远波, 等. Corvis ST 评估高度近视患者角膜生物力学参数及其相关因素. *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2019;21(3):193-199
- 27 Yu AY, Shao H, Pan AP, *et al.* Corneal biomechanical properties in myopic eyes evaluated via Scheimpflug imaging. *BMC Ophthalmol* 2020;20(1):279
- 28 Kenia VP, Kenia RV, Pirdankar OH. Age - related variation in corneal biomechanical parameters in healthy Indians. *Indian J Ophthalmol* 2020;68(12):2921-2929
- 29 黎长金, 李雪, 陆强. Corvis ST 评估中高度近视患者角膜生物力学参数的差异及其与眼部其他生物参数的相关因素. *临床眼科杂志* 2022;30(5):391-396
- 30 许波, 黄加兵. 成人近视患者的角膜生物力学特征. *临床眼科杂志* 2023;31(1):1-4
- 31 Smolek MK. Interlamellar cohesive strength in the vertical meridian of human eye bank corneas. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1993;34(10):2962-2969
- 32 中华医学会眼科学分会眼视光学组. 重视高度近视防控的专家共识(2017). *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2017;19(7):385-389