DOI:10.16016/j.1000-5404.202010102

应用 CorVis ST 评估不同屈光状态儿童的角膜生物力学特性

李 芳,钟兴武,杨 军,龙登虹,林尤青 570311 海口,中山大学中山眼科中心海南眼科医院(海南省眼科医院),海南省眼科学重点实验室

[摘要] **目的** 应用可视化角膜生物力学分析仪评估近视、远视、正视儿童的角膜生物力学特性。**方法** 选取 2019 年 8 月至 2020 年 1 月就诊于本院近视、远视、正视的儿童 123 例(191 眼),利用可视化角膜生物力学分析仪、Lenstar 900 生物测量仪分别测量角膜生物力学参数、眼轴、角膜曲率等,应用单因素线性相关分析及多因素线性回归分析年龄、等效球镜、眼轴长度、角膜厚度、平均角膜曲率等对角膜生物力学特性的影响。**结果** 经多因素线性回归分析,等效球镜与第 1 次压平时间($P=0.004$)呈正相关关系;眼轴与第 1 次压平长度($P=0.017$)、最大压陷时的反向曲率半径($P=0.02$)呈正相关关系,与第 2 次压平时的变形幅度($P<0.001$)呈负相关关系;中央角膜厚度与第 1 次压平长度($P<0.001$)、第 1 次压平时的变形幅度($P=0.005$)、产生最大压陷的时间($P=0.004$)呈正相关关系,与第 1 次压平时间($P=0.041$)呈负相关关系。**结论** 儿童的角膜生物力学特性可能与其屈光状态相关,较高度数的近视儿童的角膜粘弹性可能较低。

[关键词] 可视化角膜生物力学分析仪;角膜生物力学特性;近视;远视
[中图法分类号] R318.01; R339.141; R778.1 [文献标志码] A

Corneal visualization Scheimpflug technology evaluates corneal biomechanical properties in children with different refractive states

LI Fang, ZHONG Xingwu, YANG Jun, LONG Denghong, LIN Youqing Hainan Eye Hospital, Key Laboratory of Ophthalmology, Zhongshan Ophthalmic Center, Sun Yat-sen University, Haikou, Hainan Province, 570311, China

[**Abstract**] **Objective** To evaluate the corneal biomechanical parameters in myopic, hypermetropic and emmetropic eyes using corneal visualization Scheimpflug technology (CorVis ST). **Methods** A total of 123 children having 191 myopic, hypermetropic and emmetropic eyes admitted to our hospital from August 2019 to January 2020 were enrolled in this study. Corneal biomechanical parameters, axial length (AL) and corneal curvature were measured using CorVis ST and Lenstar 900 respectively. Univariate linear correlation analysis and multivariate linear regression analysis were used to assess the impacts of age, spherical equivalent (SE), AL, central corneal thickness (CCT) and mean corneal curvature on corneal biomechanical parameters. **Results** Multivariate linear regression analysis indicated that SE was positively correlated with time at first applanation (A1T, $P=0.004$); AL was positively correlated with A1T ($P=0.017$) and radius of reverse curvature at the time of highest concavity (HCR, $P=0.02$), but negatively with deformation amplitude at second applanation (A2DA, $P<0.001$); CCT was positively correlated with length at first applanation (A1L, $P<0.001$), A1DA ($P=0.005$), time of highest concavity ($P=0.004$), but negatively with A1T ($P=0.041$). **Conclusion** The biomechanical parameters of children may be related with their refractive states. Higher myopic eyes tend to have lower corneal elasticity.

[基金项目] 海南省自然科学基金(CXTD011,817364)
[通信作者] 钟兴武,E-mail:xingzh88@126.com

1000-5404/Copyright © 2021, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

[**Key words**] corneal visualization Scheimpflug technology; corneal biomechanical parameters; myopia; hyperopia

Supported by the Natural Science Foundation of Hainan Province (CXTD011, 817364). Corresponding author: ZHONG Xingwu, E-mail: xingzh88@126.com

随着眼反应分析仪(ocular response analyzer,ORA)和可视化角膜生物力学分析仪(corneal visualization scheimpflug technology, CorVis ST)在眼科临床的应用,评估活体角膜的生物力学特性成为可能。研究表明,儿童与成人的近视均与角膜生物力学特性有一定的相关性[1-2],但这些研究所得出的结果并不一致。此外,眼轴长度与近视相关已经被证实,但眼轴长度与角膜生物力学特性是否相关还需要进一步研究。目前,关于用 CorVis ST 分析屈光不正儿童的角膜生物力学特性的文献仍较少报道。因此,本前瞻性研究旨在比较儿童近视眼、远视眼与正视眼角膜生物力学的特征,从而提供儿童人群不同屈光状态的眼球角膜生物力学特征的资料,并评估在儿童人群中哪些潜在因素与角膜生物力学特征具有相关性。

1 资料与方法

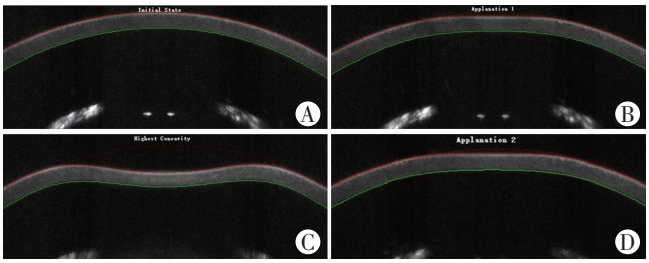
1.1 一般资料

选取 2019 年 8 月至 2020 年 1 月就诊于本院的屈光不正的儿童 123 例(191 眼),其中男性 114 眼,女性 77 眼,年龄 3~16 岁,等效球镜(spherical equivalent, SE)-7.00~+10.25D。纳入标准:年龄≤16 岁;检查前受检者无角膜接触镜配戴史。排除标准:有屈光不正以外的其他眼部疾病及全身系统性疾病;有外伤史或手术史;2 个月内有全身药物使用史或眼部局部药物使用史;散光≥2.0D。纳入的患者根据屈光状态分为远视组(SE>+0.50D)、正视组(-0.50D≤SE≤+0.50D)、低度近视组(-0.50D<SE<-3.00D)和中高度近视组(SE≥-3.00D)。本研究通过中山大学中山眼科中心海南眼科医院临床科研伦理委员会审批(批号:2018-006),依照赫尔辛基宣言,告知被检者及其监护人相关检查流程并且均签署知情同意书。

1.2 检查方法

1.2.1 一般眼科检查 入选患者行眼科常规检查并记录相关结果,包括裸眼视力和最佳矫正视力,裂隙灯眼前节检查、直接镜眼底检查、电脑验光、显然验光、散瞳验光(1%盐酸环喷托酯滴眼液)。Lenstar 900 生物测量仪(Haag-Streit AG, Koeniz, 瑞士)测量眼轴、平坦轴角膜曲率和陡峭轴角膜曲率;平均角膜曲率(mean keratometry, Km)=(平坦轴角膜曲率+陡峭轴角膜曲率)/2。每个受检者均行散瞳验光,验光前每 5 min 滴用 1 次 1%盐酸环喷托酯滴眼液,共用 2 次,等待 30 min 后进行散瞳验光。

1.2.2 CorVis ST 测量角膜生物力学参数和眼压(intraocular pressure, IOP) 该仪器采用气冲印压技术引起角膜压陷形变,同时借助 Scheimpflug 高速相机(4 330 帧/s)在 31 ms 内采集 140 幅图像,观察角膜的形变过程(图 1):经过第 1 次压平后达到最大凹陷程度,回弹的过程中会经过第 2 次压平,最终恢复自然形态。经系统软件分析后,从而获得角膜形变参数,包括第 1 次压平时间(time of appl 1, A1T)、第 1 次压平长度(length of appl 1, A1L)、第 1 次压平速度(velocity of appl 1, A1V)、第 1 次压平时的变形幅度(deformation amplitude of appl 1, A1DA)、第 2 次压平时间(A2T)、第 2 次压平长度(A2L)、第 2 次压平速度(A2V)、第 2 次压平时的变形幅度(A2DA)、产生最大压陷的时间(time of Hi Con, HCT)、最大压陷时的变形幅度(deformation amplitude, DA)、最大压陷时的峰距(peak distance, PD)、最大压陷时的反向曲率半径(Hi Con radius, HCR)、中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)、IOP 等。本研究由同一检查者操作 CorVis ST,并保留每只眼 3 次测量质量为"OK"的结果,取其平均值用于计算和分析。



A:角膜初始自然形态;B:角膜达到第 1 次压平时的形态;C:角膜达到最大凹陷程度时的形态;D:角膜回弹的过程中达到第 2 次压平时的形态

图 1 应用 CorVis ST 观察角膜的形变过程

1.3 统计学分析

采用 SAS 9.4 软件进行统计学分析,连续型变量在剔除少数异常值后,均经直方图和 Q-Q 图判断符合正态分布特征,描述性分析采用 $\bar{x}\pm s$ 表示。如果因变量为连续型变量,单因素分析采用两独立样本 t 检验、方差分析或 Pearson 线性相关分析,多因素分析采用

多重线性回归分析;如果因变量为分类变量,单因素分析采用两独立样本的 t 检验或卡方检验,多因素分析采用多因素 Logistic 回归分析。将单因素分析时 $P<0.05$ 的自变量纳入多因素分析中,采用双侧检验,检验水准为 0.05。

2 结果

2.1 基本资料

本研究共收集 123 例受检者(191 眼),其中男性 114 眼,女性 77 眼;年龄 3~16 岁,平均年龄 9.6 岁;等效球镜度-7.00~+10.25D,平均等效球镜度-0.99D。中高度近视组 36 眼,男性 11 眼,女性 25 眼;年龄 9~14 岁,平均 11.0 岁;SE 为-7.00D~-3.00D,平均-4.021D;眼轴长度为 23.64~26.94 mm,平均 25.24 mm。低度近视组 83 眼,男性 54 眼,女性 29 眼;年龄 6~16 岁,平均 10.8 岁;SE 为-2.875D~-0.750D,平均-1.717D;眼轴长度为 22.70~25.68mm,平均 24.32 mm。正视组 30 眼,男性 22 眼,女性 8 眼;年龄 4~14 岁,平均 8.2 岁;SE 为-0.50D~+0.50D,平均-0.10D;眼轴长度为 22.47~25.12 mm,平均 23.41 mm。远视组 42 眼,男性 27 眼,女性 15 眼;年龄 3~14 岁,平均 7.0 岁;SE 为+0.625~+10.25D,平均+2.372D;眼轴长度为 19.77~24.02 mm,平均 22.14 mm。经统计学分析,4 组年龄($P=0.000$)、性别($P=0.001$)、SE($P=0.000$)、IOP($P=0.000$)、AL($P=0.006$)差异有统计学意义,4 组 CCT、Km 差异无统计学意义,见表 1。进一步对 4 组的 IOP、AL 进行两两比较,发现中高度近视组的 IOP 高于远视组,差异有统计学意义($P=0.019$);中高度近视组的 AL 大于低度近视组($P=0.000$)、正视组($P=0.000$)和远视组($P=0.000$),低度近视组的 AL 大于正视组($P=0.000$)和远视组($P=0.000$),正视组的 AL 大于远视组($P=0.000$),差异均有统计学意义。

2.2 各组角膜生物力学参数比较

对 4 组的角膜生物力学参数进行比较,结果见表 2。A1T、A1L、A1V、A1DA、A2T、A2L、A2V、A2DA、HCT、DA、PD、HCR 均经直方图和 Q-Q 图判断符合正态分布。中高度近视组、低度近视组、正视组以及远视组的角膜生物力学参数 A1T($P=0.02$)、A1V($P=0.017$)、A2DA($P=0.01$)、HCR($P=0.002$)组间比较差异有统计学意义。进一步两两比较发现,中高度近视组的 A1T 高于远视组($P=0.015$);中高度近视组的 A1V 低于正视组($P=0.016$);中高度近视组的 A2DA 低于正视组($P=0.002$);中高度近视组的 HCR 高于正视组($P=0.006$)和远视组($P=0.017$)。

2.3 影响角膜生物力学特性的单因素分析

对可能影响角膜生物力学参数的因素年龄、SE、AL、CCT、Km 进行单因素分析,结果见表 3。年龄与 A1T($P<0.001$)、HCR($P=0.001$)呈正相关关系,与 A1V($P=0.002$)呈负相关关系;SE 与 A1V($P=0.038$)、DA($P=0.011$)、A2DA($P=0.001$)呈正相关关系,与 A1T($P=0.001$)、HCR($P=0.000$)呈负相关关系;眼轴与 A1T($P=0.001$)、A1L($P=0.019$)、HCR($P<0.001$)呈正相关关系,与 A1V($P<0.001$)、A2T($P=0.010$)、A2DA($P<0.001$)、DA($P=0.042$)呈负相关关系;CCT 与 A1T($P<0.001$)、A1L($P<0.001$)、A1DA($P<0.001$)、A2L($P=0.049$)、A2V($P<0.001$)、HCT($P=0.004$)、HCR($P=0.002$)呈正相关关系,与 A1V($P<0.001$)、DA($P=0.008$)呈负相关关系;Km 与角膜生物力学参数无相关关系。

2.4 影响角膜生物力学特性的多因素分析

将单因素分析时 $P<0.05$ 的自变量如年龄、SE、AL、CCT 纳入多因素分析中,结果见表 4。未发现年龄与角膜生物力学参数有相关性。SE 与 A1T($P=0.004$)呈正相关关系;AL 与 A1L($P=0.017$)、HCR($P=0.02$)呈正相关关系,与 A2DA($P<0.001$)呈负相关关系;CCT 与 A1L($P<0.001$)、A1DA($P=0.005$)、HCT($P=0.004$)呈正相关关系,与 A1T($P=0.041$)呈负相关关系。

表 1 各组患者的基本资料

组别	例数	年龄/岁	性别(男/女)	SE(D)	IOP/mmHg	AL/mm	CCT/μm	K(D)
中高度近视	36	11.0±1.4	11/25	-4.021±1.083	17.50±2.82	25.24±0.81	561.8±36.3	43.58±1.42
低度近视	83	10.8±2.2	54/29	-1.717±0.585	16.56±3.02	24.32±0.62	558.7±36.2	43.56±1.18
正视	30	8.2±2.9	22/8	-0.101±0.344	15.57±2.28	23.41±0.66	554.6±32.6	43.79±1.22
远视	42	7.0±2.8	27/15	2.372±2.531	15.42±2.97	22.14±0.98	560.4±31.6	43.12±1.95
P 值		0.000	0.001	0.000	0.000	0.006	0.372	0.307

表 2 各组患者的角膜生物力学参数比较（$\bar{x}\pm s$）

组别	n	A1T/ms	A1L/mm	A1V/m·s^{-1}	A1DA/mm	A2T/ms	A2L/mm
中高度近视	36	7.65±0.38	1.86±0.38	0.13±0.02	0.12±0.01	21.42±0.87	1.79±0.40
低度近视	83	7.56±0.37	1.87±0.28	0.14±0.02	0.13±0.02	21.24±1.25	1.64±0.55
正视	30	7.42±0.26	1.98±0.35	0.15±0.05	0.13±0.01	21.60±0.76	1.78±0.51
远视	42	7.44±0.34	1.78±0.22	0.14±0.01	0.12±0.02	21.37±1.34	1.61±0.50
P 值		0.020	0.310	0.017	0.974	0.321	0.258
组别		A2V/m·s^{-1}	A2DA/mm	HCT/ms	PD/mm	HCR/mm	DA/mm
中高度近视		0.29±0.07	0.37±0.12	16.72±0.76	3.45±1.34	7.60±0.87	0.96±0.08
低度近视		0.33±0.08	0.42±0.16	16.59±0.68	3.49±1.26	6.96±1.26	0.99±0.11
正视		0.30±0.07	0.40±0.11	16.72±0.55	3.74±1.20	6.48±1.42	0.99±0.10
远视		0.31±0.09	0.46±0.18	16.60±0.57	3.06±1.20	6.67±1.40	0.99±0.11
P 值		0.061	0.010	0.648	0.075	0.002	0.413

表 3 角膜生物力学参数影响因素的单因素分析

参数	年龄		SE		AL		CCT		Km	
	统计量	P 值	统计量	P 值	统计量	P 值	统计量	P 值	统计量	P 值
A1T	0.242	<0.001	−0.237	0.001	0.236	0.001	0.286	<0.001	0.005	0.951
A1L	0.088	0.319	−0.045	0.534	0.208	0.019	0.354	<0.001	0.020	0.815
A1V	−0.226	0.002	0.150	0.038	−0.273	<0.001	−0.280	<0.001	0.149	0.073
A1DA	0.095	0.197	0.007	0.919	−0.013	0.862	0.322	<0.001	0.094	0.257
A2T	−0.069	0.373	0.017	0.819	−0.202	0.010	−0.069	0.374	0.084	0.312
A2L	0.075	0.303	−0.064	0.381	0.066	0.367	0.143	0.049	0.089	0.288
A2V	−0.093	0.201	−0.091	0.215	0.074	0.318	0.253	<0.001	−0.028	0.742
A2DA	−0.007	0.934	0.235	0.001	−0.406	<0.001	0.102	0.198	−0.062	0.462
DA	−0.033	0.653	0.183	0.011	−0.149	0.042	−0.190	0.008	0.022	0.795
PD	0.130	0.899	−0.051	0.481	−0.610	0.542	−0.950	0.344	0.081	0.334
HCT	0.032	0.656	0.040	0.585	−0.047	0.520	0.208	0.004	0.107	0.199
HCR	0.243	0.001	−0.259	0.000	0.257	<0.001	0.224	0.002	−0.010	0.901

表 4 角膜生物力学参数影响因素的多因素分析

参数	SE		AL		CCT	
	B 值	P 值	B 值	P 值	B 值	P 值
A1T	0.014	0.004			−0.003	0.041
A1L			0.004	0.017	0.000 3	<0.001
A1V						
A1DA					0.000 1	0.005
A2DA			−0.019	<0.001		
DA						
HCT					0.004	0.004
HCR			0.117	0.02		

3 讨论

角膜基质中的胶原纤维使角膜保持一定的硬度，胶原纤维之间像凝胶一样相互融合镶嵌，产生摩擦力，这使得角膜同时包含弹性和粘度特征。角膜的弹性表现在当有外力作用于角膜时，角膜会出现变形；而角膜的粘度则指在当外力作用去除时，角膜表现出抵抗恢复原形的力量。角膜生物力学各参数则反映了角膜的弹性和粘度特征。

目前临床上用于测量活体角膜的生物力学特性的仪器主要是 ORA 和 CorVis ST。ORA 通过测量角膜滞后量（corneal hysteresis，CH）、角膜阻力因子（corneal resistance factor，CRF）反映角膜生物力学的特征。而相较于 ORA，CorVis ST 不仅可以提供 12 个角膜生物力学参数，而且可以同时测量中央角膜厚度和眼压，更具体详细地呈现出角膜的生物力学特征。其中，A1T、A1L、A1V、A1DA 分别反映了角膜受到外力后从自然状态内陷到达第 1 次压平时的时间、水平方向压平长度、速度和垂直方向的形变量；AIT 越小，A1L、A1V、A1DA 越大，则其角膜粘弹性越低。A2T、A2L、A2V、A2DA 则反映了角膜受外力作用从自然形态发生形变并回弹到达第 2 次压平时的时间、水平方向压平长度、速度以及垂直方向的形变量；A2T 越小，A2L、A2V、A2DA 越大，则其角膜粘弹性越低。HCT、DA、PD、HCR 反映了角膜从自然形态达到最大凹陷程度时的时间、垂直方向的形变量、水平方向的形变量和凹陷圆

的曲率半径;HCT、HCR 越小,DA、PD 越大,则其角膜粘弹性越低。以往的研究表明,并不是所有的角膜生物力学参数都具有较好的可重复性[3-7],可重复性较好的参数为 A1T、DA、IOP 和 CCT。所以本研究对每只眼进行了 3 次质量为"OK"的测量,并且取 3 次结果的平均值用于数据分析。

本研究发现中高度近视组的 A1T、HCR 高于远视组,并且经多因素分析排除混杂因素后发现 SE 与 A1T 具有正相关关系,即提示中高度近视组的角膜粘弹性较低。这与之前的研究[8-10]所得出的结论相一致。在成人及儿童人群中的研究均发现较高近视度数的人群拥有较低的角膜粘弹性[8,10]。另外,WU 等[11]对 ORA 相关的 11 篇文章做了 Meta 分析,发现低度近视人群的角膜滞后量、角膜阻力因子高于高度近视人群。我们认为出现这种现象的原因是近视眼的眼轴较长,使得巩膜扩张,眼球组织结构的稳定性下降,导致角膜硬度下降,从而使其弹性与粘滞性降低。

本研究同时做了眼轴长度与角膜生物力学参数相关性的研究,经多重线性回归分析,AL 与 A1L 呈正相关关系,提示较长眼轴眼的角膜粘弹性较低,这也从侧面支持了我们的假设。然而,关于眼轴长度是否影响角膜生物力学特性一直以来都有争议。WANG 等[8]在成人人群中发现眼轴与 DA 呈正相关关系。BUENO-GIMENO 等[1,12]应用 ORA 测量角膜生物力学参数的研究也证实较长眼轴的眼球拥有较低的角膜滞后量、角膜阻力因子。这些研究与本研究的结论相一致。然而,NEMETH 等[4,13]在研究中并没有发现眼轴与角膜生物力学参数有相关性。可能与其研究均在成人正视眼人群中进行,研究对象的 AL 均在正常范围内;而本研究的对象包括近视、远视的屈光不正儿童,AL 涉及范围较广有关。

本研究发现 CCT 与 A1L、A1DA、HCT 呈正相关关系,与 A1T 呈负相关关系,但相关性均很弱,提示中央角膜厚度较厚时,角膜粘弹性较低。但是,WU 等[6]和 WANG 等[8]在成人人群中的研究得出不一样的结论,他们发现 CCT 与 DA 呈负相关关系,即提示中央角膜较薄时,角膜粘弹性较低。因本研究中 CCT 与各个角膜生物力学参数相关性均很弱,而且以往研究表明 A1L、A1DA、HCT 可重复性较差,因此我们认为本研究发现的 CCT 与角膜生物力学参数的相关性并无实际意义。仍需要进一步扩大研究人群及样本量探索角膜厚度与角膜生物力学特性的相关关系。

本研究未发现平均角膜曲率与角膜生物力学各参数具有相关性。以往关于角膜曲率与角膜生物力学特性的相关性研究的结论也并不一致[4-5,8,14]。HON 等[5]的研究表明角膜曲率与角膜生物力学特性无相关性。但是,更多的研究[4,8,14]表明角膜曲率较小时,其粘弹性较高。这可能是研究人群不同导致结论不一致。

以往有研究报道年龄与角膜生物力学特性有相关性[3]。并且有研究证实随着年龄的增加,角膜的硬度随之增加[15]。在本研究中,经 Pearson 线性相关性分析发现年龄与 A1T、HCR 呈正相关关系,与 A1V 呈负相关关系;但是,经多因素 Logistic 回归分析排除混杂因素(如性别、屈光度、眼轴长度等)后发现年龄与角膜生物力学参数无相关性,这与 HE 等[10]在儿童人群中的研究结果相一致。本研究是在儿童人群中进行的,年龄范围较窄,因此需要进一步扩大人群样本以探索年龄与角膜生物力学参数的相关性。

本研究存在的不足之处:①需要扩大高度近视人群的样本量做进一步的深入研究;②因本研究中只采用了 CorVis ST 测量眼压,考虑到角膜生物力学参数可能对眼压的测量造成影响,所以本研究并没有分析眼压与角膜生物力学各参数的相关关系。

综上所述,本研究发现 CorVis ST 可以准确、无创、方便地测量儿童的角膜生物力学参数,反映儿童角膜生物力学的特征。儿童的角膜生物力学特性可能与其屈光状态有一定的相关性;较高度数的近视儿童的角膜粘弹性可能较低。然而,这些只是我们的初步发现,需要进一步的大型对照研究来阐明近视人群中角膜生物力学特性一致的临床标准,为近视干预、屈光手术提供参考。

参考文献:

[1] BUENO-GIMENO I, ESPAÑA-GREGORI E, GENE-SAMPEDRO A, *et al*. Relationship among corneal biomechanics, refractive error, and axial length[J]. Optom Vis Sci, 2014, 91(5): 507-513. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000231.

[2] DEL BUEY M A, LAVILLA L, ASCASO F J, *et al*. Assessment of corneal biomechanical properties and intraocular pressure in myopic Spanish healthy population[J]. J Ophthalmol, 2014, 2014: 905129. DOI: 10.1155/2014/905129.

[3] WANG W, HE M, HE H, *et al*. Corneal biomechanical metrics of healthy Chinese adults using Corvis ST[J]. Cont Lens Anterior Eye, 2017, 40(2): 97-103. DOI: 10.1016/j.clae.2016.12.003.

[4] NEMETH G, HASSAN Z, CSUTAK A, *et al*. Repeatability of ocular biomechanical data measurements with a Scheimp-

flug-based noncontact device on normal corneas[J]. J Refract Surg, 2013, 29(8): 558-563. DOI: 10.3928/1081597x-20130719-06.

[5] HON Y, LAM A K C. Corneal deformation measurement using scheimpflug noncontact tonometry[J]. Optom Vis Sci, 2013, 90(1): e1-e8. DOI: 10.1097/opx.0b013e318279eb87.

[6] WU Y, TIAN L, HUANG Y F, *et al*. *In vivo* corneal biomechanical properties with corneal visualization scheimpflug technology in Chinese population[J]. Biomed Res Int, 2016, 2016: 7840284. DOI: 10.1155/2016/7840284.

[7] ASAOKA R, NAKAKURA S, TABUCHI H, *et al*. The relationship between corvis ST tonometry measured corneal parameters and intraocular pressure, corneal thickness and corneal curvature[J]. PLoS ONE, 2015, 10(10): e0140385. DOI: 10.1371/journal.pone.0140385.

[8] WANG J Y, LI Y, JIN Y M, *et al*. Corneal biomechanical properties in myopic eyes measured by a dynamic scheimpflug analyzer[J]. J Ophthalmol, 2015, 2015: 161869. DOI: 10.1155/2015/161869.

[9] LEE R, CHANG R T, WONG I Y, *et al*. Assessment of corneal biomechanical parameters in myopes and emmetropes using the Corvis ST[J]. Clin Exp Optom, 2016, 99(2): 157-162. DOI: 10.1111/cxo.12341.

[10] HE M, DING H, HE H, *et al*. Corneal biomechanical properties in healthy children measured by corneal visualization scheimpflug technology[J]. BMC Ophthalmol, 2017, 17(1): 70. DOI: 10.1186/s12886-017-0463-x.

[11] WU W J, DOU R, WANG Y. Comparison of corneal biomechanics between low and high myopic eyes—A meta-analysis[J]. Am J Ophthalmol, 2019, 207: 419-425. DOI: 10.1016/j.ajo.2019.07.007.

[12] BUENO-GIMENO I, ESPAÑA-GREGORI E, GENE-SAMPEDRO A, *et al*. Relationship among corneal biomechanics, refractive error, and axial length[J]. Optom Vis Sci, 2014, 91(5): 507-513. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000231.

[13] NEMETH G, SZALAI E, HASSAN Z, *et al*. Corneal biomechanical data and biometric parameters measured with Scheimpflug-based devices on normal corneas[J]. Int J Ophthalmol, 2017, 10(2): 217-222. DOI: 10.18240/ijo.2017.02.06.

[14] ZHANG Y H, WANG Y, LI L Y, *et al*. Corneal stiffness and its relationship with other corneal biomechanical and nonbiomechanical parameters in myopic eyes of Chinese patients[J]. Cornea, 2018, 37(7): 881-885. DOI: 10.1097/ICO.0000000000001605.

[15] ELSHEIKH A, GERAGHTY B, RAMA P, *et al*. Characterization of age-related variation in corneal biomechanical properties[J]. J R Soc Interface, 2010, 7(51): 1475-1485. DOI: 10.1098/rsif.2010.0108.

(**收稿**:2020-10-16;**修回**:2021-01-06)

(编辑 张 维)