

近视儿童角膜生物力学参数与角膜高阶像差的相关性研究

高智奇, 刘珠珠, 刘桂华, 荣 华, 李 娜, 魏瑞华, 粘 红

引用: 高智奇, 刘珠珠, 刘桂华, 等. 近视儿童角膜生物力学参数与角膜高阶像差的相关性研究. 国际眼科杂志 2022; 22(9): 1546-1549

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No.81970793, 82070929)
作者单位: (300384) 中国天津市, 天津医科大学眼科医院 眼视光学院 眼科研究所 国家眼耳鼻喉疾病临床医学研究中心天津市分中心 天津市视网膜功能与疾病重点实验室
作者简介: 高智奇, 天津医科大学在读硕士研究生, 研究方向: 眼视光学。
通讯作者: 粘红, 毕业于中国科学院动物研究所, 博士, 研究员, 博士研究生导师, 研究方向: 自身免疫性葡萄膜炎、眼视光学。
nianhong@126.com
收稿日期: 2022-01-17 修回日期: 2022-08-10

摘要

目的: 应用可视化角膜生物力学分析仪 (Corvis ST) 测量轻度近视儿童的角膜生物力学参数与角膜高阶像差 (HOAs) 的相关性。

方法: 横断面研究。连续收集 2021-04/07 在天津医科大学眼科医院视光中心就诊的儿童近视患者 255 例的病例资料, 均取右眼进行分析。应用 Corvis ST 测量角膜生物力学参数; 应用 Pentacam 三维眼前节分析仪测量并计算角膜总高阶像差 (RMS_H)、三阶像差 (RMS₃)、四阶像差 (RMS₄)。

结果: RMS₃ 与第 2 次压平时间 (A2T) 呈正相关关系 ($r = 0.175, P = 0.009$), 与眼轴长度 (AL) 呈负相关关系 ($r = -0.155, P = 0.014$); RMS₄ 与最大压陷时反向曲率半径 (HCR) 呈负相关关系 ($r = -0.165, P = 0.009$); RMS_H 与 HCR、AL 呈负相关关系 ($r = -0.152, P = 0.037; r = -0.175, P = 0.005$)。

结论: 近视儿童角膜生物力学参数与角膜高阶像差间存在相关性, 硬度较高、抗变形能力较强的角膜, RMS₃、RMS₄、RMS_H 较小。

关键词: 可视化角膜生物力学分析仪; 近视; 高阶像差; 角膜生物力学

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2022.9.25

Correlation analysis between corneal biomechanical parameters and high-order aberrations in myopia children

Zhi-Qi Gao, Zhu-Zhu Liu, Gui-Hua Liu, Hua Rong, Na Li, Rui-Hua Wei, Hong Nian

Foundation items: National Natural Science Foundation of China

(No.81970793, 82070929)

School of Optometry; Eye Institute; Tianjin Branch of National Clinical Research Center for Ocular Disease; Tianjin Key Laboratory of Retinal Functions and Diseases, Tianjin Medical University Eye Hospital, Tianjin 300384, China

Correspondence to: Hong Nian. School of Optometry; Eye Institute; Tianjin Branch of National Clinical Research Center for Ocular Disease; Tianjin Key Laboratory of Retinal Functions and Diseases, Tianjin Medical University Eye Hospital, Tianjin 300384, China. nianhong@126.com

Received: 2022-01-17 Accepted: 2022-08-10

Abstract

• AIM: To investigate the correlation between corneal biomechanical parameters measured by the corneal visualization Scheimpflug Technology (Corvis ST) and corneal high-order aberrations (HOAs) in children with mild to moderate myopia.

• METHODS: A cross-sectional study. A total of 255 pediatric patients with myopia enrolled from April to July 2021 in Tianjin Medical University Eye Hospital were continuously collected, and all the right eyes were taken for analysis. Corneal biomechanical parameters were obtained from Corvis ST. Pentacam three-dimensional anterior segment analyzer was used to measure total corneal higher-order aberrations (RMS_H), third order aberrations (RMS₃) and fourth order aberrations (RMS₄).

• RESULTS: RMS₃ was positively correlated with the second applanation time (A2T) ($r = 0.175, P = 0.009$) and negatively correlated with the axis length (AL) ($r = -0.155, P = 0.014$). RMS₄ was negatively correlated with the highest concavity radius (HCR) ($r = -0.165, P = 0.009$). RMS_H was negatively correlated with HCR and AL ($r = -0.152, P = 0.037; r = -0.175, P = 0.005$).

• CONCLUSION: There is a correlation between corneal biomechanical parameters and HOAs in children with myopia. Cornea with higher stiffness and stronger deformation resistance has smaller RMS₃, RMS₄ and RMS_H.

• KEYWORDS: corneal visualization Scheimpflug Technology (Corvis ST); myopia; high-order aberrations; corneal biomechanics

Citation: Gao ZQ, Liu ZZ, Liu GH, et al. Correlation analysis between corneal biomechanical parameters and high-order aberrations in myopia children. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022; 22(9): 1546-1549

0 引言

波前像差是近几年眼科领域的研究热点,其作为客观评价视觉质量的一种方法受到越来越多的关注。波前像差可分为低阶像差和高阶像差 (high-order aberrations, HOAs),低阶像差包括近视、远视和散光可以通过配戴框架眼镜、角膜接触镜或常规屈光手术得到矫正,而高阶像差的矫正手段仍然有限。有研究表明高阶像差引起的视觉质量下降可能是儿童近视发生发展的影响因素^[1-2]。角膜生物力学特性与角膜形态密切相关^[3],而角膜形态如中央角膜厚度 (corneal central thickness, CCT)^[4]、角膜非球面系数 (Q 值) 或者角膜曲率^[5] 的变化还会引起角膜高阶像差的改变从而影响眼的成像质量,提示我们角膜高阶像差可能与生物力学特性有关。以往关于高阶像差的研究主要集中在成年人,目前鲜见国内外关于儿童近视眼角膜生物力学参数与高阶像差之间关系的报道。本研究对儿童近视眼角膜生物力学参数和高阶像差的关系进行探讨。

1 对象和方法

1.1 对象

横断面研究。选取 2021-04/07 在天津医科大学眼科医院就诊的儿童近视患者 255 例。纳入标准:(1) 年龄 8~15 岁;(2) 眼压<21mmHg (1kPa=7.5mmHg);(3) $-5.50D \leq$ 等效球镜度 (SE) $\leq -0.75D$,散光 $\leq 1.50D$,最佳矫正视力 ≥ 1.0 ;(4) 无角膜接触镜配戴史;(5) 为避免双眼发育相关性的影响,只取右眼数据进行分析。排除标准:(1) 眼部存在角膜病、干眼、过敏性眼病、葡萄膜炎、视网膜疾病等眼病者;(2) 有眼部手术史或全身性疾病者。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,所有患者及其监护人知情同意并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 一般检查

入选患眼均行裸眼视力、最佳矫正视力、裂隙灯眼前节检查、直接镜眼底检查、Lenstar 900 生物测量仪测量眼轴长度 (AL)、眼压等检查。

1.2.2 角膜高阶像差检查

采用 Pentacam 三维眼前节分析仪测量角膜高阶像差。该仪器采用基于 Scheimpflug 原理的 360° 旋转扫描技术,在 2s 内从 25000 个不同的高程点获取数据,生成眼前节三维虚拟模型,通过系统自带程序将实际角膜与理想的非球面角膜进行高度对比来计算角膜像差,并以 Zernike 多项式均方根值 (root mean square, RMS) 的形式来表达。选择质量参数显示为“OK”的 3 次结果,取其平均值进行分析并计算以角膜顶点为中心 6mm 直径范围内的角膜总高阶像差 (RMSH)、三阶像差 (RMS3)、四阶像差 (RMS4)。

1.2.3 角膜生物力学检查

由同一位经验丰富的医师应用 Corvis ST 对角膜生物力学参数进行测量,取质量参数显示为“OK”的结果进行计算和分析。Corvis ST 可实时动态记录角膜受压形变的全过程 (图 1) 并通过分析获得反映角膜生物力学特性的一系列参数,包括第 1 次压平时间 (the first applanation time, A1T) 和速度 (the first applanation velocity, A1V)、第 2 次压平时间 (the second applanation time, A2T) 和速度 (the second applanation velocity, A2V)、最大压陷时反向曲率半径 (highest concavity radius, HCR)、最大压陷时峰距 (peak distance, PD)、最大压陷时的变形幅度 (deformation amplitude, DA) 以及 CCT 和非接触式眼压 (IOPnct)。

统计学分析:使用 SPSS 23.0 统计学软件进行统计分析。连续性变量使用 Kolmogorov-Smirnov 检验其正态性,计量资料如符合正态分布以均数±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示。应用 Pearson 相关分析法分析变量之间的相关性。采用多因素线性回归分析法探讨角膜高阶像差与生物力学参数、屈光度及眼轴之间的关系。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 纳入患者基本资料

本研究共纳入 255 例近视儿童 (均取右眼资料进行分析),其中男 122 例,女 133 例;年龄 8~15 (平均 11 ± 1.86) 岁;SE 为 $-5.50D \leq SE \leq -0.75$ (平均 -2.57 ± 1.14) D;AL 为 22.62~26.99 (平均 24.56 ± 0.79) mm,平均角膜曲率 (Km) 为 40.35~46.80 (平均 43.33 ± 1.27) D。

2.2 角膜生物力学参数

Corvis ST 测量的患者角膜生物力学参数结果见表 1。SE 与 A2V 和 HCR 均呈正相关 ($r = 0.153, P = 0.014; r = 0.151, P = 0.016$)。

2.3 角膜高阶像差与生物力学参数和 SE 及 AL 的相关性

儿童近视眼角膜高阶像差 Zernike RMS 值分别为:RMS3 0.059~0.897 (平均 0.297 ± 0.114) μm ;RMS4 0.076~0.504 (平均 0.254 ± 0.080) μm ;RMSH 0.217~1.048 (平均 0.426 ± 0.110) μm 。对可能影响角膜高阶像差的生物力学参数、SE、AL 进行单因素线性分析:RMS3 与 A2T 正相关,与 A1V、DA、PD、AL 负相关 (均 $P < 0.05$);RMS4 与 HCR 负相关 ($P = 0.009$);RMSH 与 A1V、A2T、PD、HCR、AL 负相关 (均 $P < 0.05$),见表 2。

2.4 角膜高阶像差影响因素的多因素线性回归分析

将表 2 分析时 $P < 0.05$ 的自变量及 Km 纳入多因素线性回归分析,采用逐步回归法筛选变量,见表 3。分析 RMS3 时将 A2T 和 AL 引入回归模型,回归方程为 $RMS3 = 2.252 + 0.072A2T - 0.03AL$ ($F = 3.123, P = 0.009$),即 RMS3 与 A2T 呈正相关关系 ($P = 0.026$),与 AL 呈负相关关系 ($P = 0.006$);分析 RMSH 时将 HCR 和 AL 引入回归模型,回归方程为 $RMSH = 1.989 - 0.021HCR - 0.028AL$ ($F = 4.824, P = 0.001$),即 RMSH 与 HCR ($P = 0.011$)、AL ($P = 0.007$) 呈负相关关系。

3 讨论

高阶像差可能是近视的发生发展因素之一,同时随着角膜塑形术和屈光手术的迅速发展,使得高阶像差成为眼科研究的热点。角膜作为人眼最主要的屈光介质,是角膜高阶像差的主要来源^[6],角膜形状的改变会引起像差的变化,而角膜的生物力学性质是决定角膜能否维持正常形态的关键因素^[3]。在一项成人的研究中发现,角膜生物力学特性与屈光手术后的角膜高阶像差具有相关性,术前测量角膜生物力学参数对筛选患者和优化术后视觉质量具有重要意义^[7]。目前国内外鲜见关于儿童近视眼角膜高阶像差与生物力学参数之间关系的报道,故本研究利用 Pentacam 和 Corvis ST 对儿童近视眼角膜高阶像差与生物力学参数的相关性进行探讨。

在角膜高阶像差中,三阶和四阶像差占比最大^[8],本研究分析了 RMS3、RMS4 及 RMSH 与角膜生物力学参数、SE 及 AL 的关系,结果显示,角膜 RMS3 与 A2T 正相关, RMS4、RMSH 与 HCR 均呈负相关。Xu 等^[9] 测量了角膜硬度与 Corvis ST 参数之间的关系,结果显示,角膜的硬度与 A2T 呈负相关,与 HCR 呈正相关,即角膜硬度越大, A2T

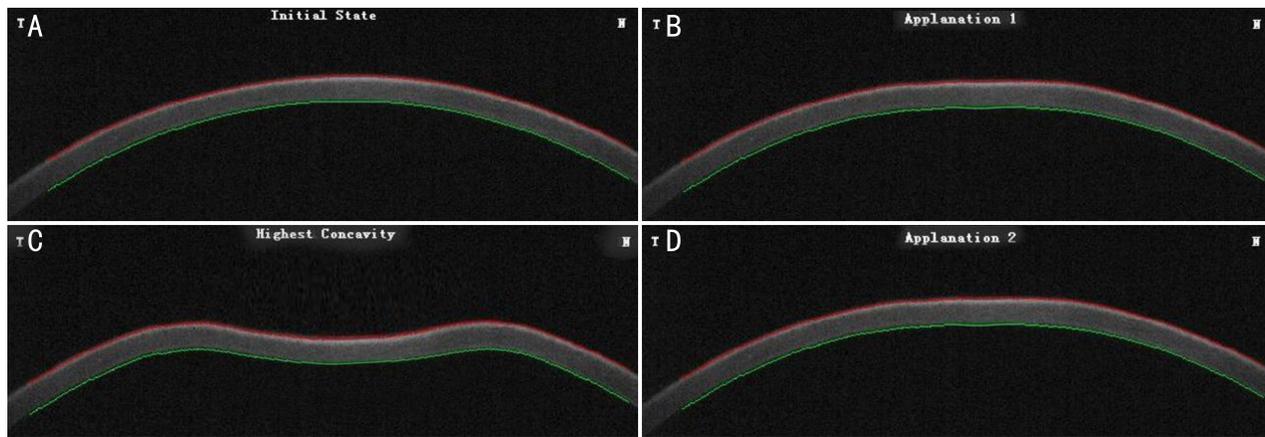


图1 Corvis ST 测量时角膜形变过程 A:角膜初始自然状态;B:第一次压平状态;C:最大压陷状态;D:第二次压平状态。

表1 Corvis ST 测量的患者角膜生物力学参数

Corvis ST 参数	$\bar{x} \pm s$	范围
A1T (ms)	7.574±0.380	6.835~9.048
A1V (m/s)	0.128±0.018	0.09~0.178
A2T (ms)	21.955±0.412	20.877~23.138
A2V (m/s)	-0.262±0.031	-0.349~-0.168
DA (mm)	0.974±0.098	0.74~1.267
PD (mm)	4.848±0.286	3.955~5.614
HCR (mm)	8.081±0.894	5.993~11.391
IOPnct (mmHg)	16.882±2.544	11.5~27.5
CCT (μm)	566.88±30.365	476~667

注:A1T:第1次压平时间;A1V:第1次压平速度;A2T:第2次压平时间;A2V:第2次压平速度;DA:最大压陷时的变形幅度;PD:最大压陷时的峰距;HCR:最大压陷时反向曲率半径;IOPnct:非接触式眼压;CCT:中央角膜厚度。

表2 角膜高阶像差与生物力学参数和 SE 及 AL 的相关性

参数	RMS3		RMS4		RMSH	
	r	P	r	P	r	P
A1T	0.078	0.217	0.053	0.500	0.102	0.106
A1V	-0.155	0.024	-0.057	0.275	-0.155	0.014
A2T	0.175	0.009	-0.055	0.417	-0.160	0.011
A2V	0.058	0.359	0.020	0.756	0.061	0.336
DA	-0.143	0.024	-0.031	0.626	-0.112	0.075
PD	-0.165	0.009	-0.073	0.249	-0.187	0.005
HCR	-0.069	0.275	-0.165	0.009	-0.152	0.037
IOPnct	0.077	0.227	0.044	0.484	0.094	0.138
CCT	-0.048	0.453	-0.029	0.646	-0.037	0.557
SE	0.039	0.543	-0.067	0.291	-0.010	0.877
AL	-0.155	0.014	-0.049	0.439	-0.175	0.005

注:RMS3:三阶像差;RMS4:四阶像差;RMSH:总高阶像差;A1T:第1次压平时间;A1V:第1次压平速度;A2T:第2次压平时间;A2V:第2次压平速度;DA:最大压陷时的变形幅度;PD:最大压陷时的峰距;HCR:最大压陷时反向曲率半径;IOPnct:非接触式眼压;CCT:中央角膜厚度;SE:等效球镜度;AL:眼轴长度。

越小,HCR 越大,结合本研究结果可知,随着角膜硬度增大,RMS3、RMS4 及 RMSH 均降低,即较硬的角膜趋向于拥有更小的高阶像差。这可能是由于较硬的角膜对角膜曲率的增大产生抑制效果导致的。

既往研究表明,高阶像差与角膜曲率密切相关,李晓晶等^[10]的研究表明以角膜顶点为中心直径4、6mm 区域内的角膜最平坦处曲率(K1)、最陡峭处曲率(K2)与前表面、后表面及全角膜总高阶像差 RMS 均呈正相关,Zhang 等^[11]和 Zeng 等^[5]的研究也表明角膜总高阶像差 RMS 随角膜曲率的增大而明显增加,而有研究表明,角膜的曲率与角膜的硬度呈负相关关系,王丹等^[12]对单纯近视患者进行 Corvis ST 的测量,发现 Km(平均角膜曲率)与 A2L、HCR 均呈负相关,Nemeth 等^[13]和 Zhang 等^[14]对成年人近视眼的角膜生物力学特性与角膜前表面曲率、前房深度等眼前节参数进行相关性分析,结果发现陡峭的角膜拥有较低的角膜硬度,以上研究均表明硬度较高、抗变形能力强的角膜拥有更小的角膜曲率。

综上,我们推测角膜硬度越高、抗变形能力越强,角膜的曲率更小,从而导致 RMS3、RMS4、RMSH 越小。张耀花等^[15]在 SE 为-9.25~-1.13D 的成人单纯近视患者中的研究显示,第1次压平长度(A1L)与角膜前表面、后表面、全角膜的总高阶像差 RMS 均呈负相关,即角膜的硬度较高、抗变形能力较强时,角膜前表面、后表面、全角膜的总高阶像差 RMS 较小,这与本研究的结果一致。有研究认为高阶像差引起的视觉质量下降影响近视的发生、发展,角膜生物力学参数与高阶像差存在相关性^[1],因此,角膜生物力学特性在近视进展中可能也发挥了一定作用^[16]。

本研究发现 AL 越长,RMS3、RMSH 越小,这与之前的研究结论基本一致,Shimozono 等^[17]和 Zhang 等^[14]的研究结果均证实随着 AL 的增长总高阶像差和球差均显著减小。多项研究均表明角膜随着眼轴的增长而变得平坦^[18-19],Lee 等^[20]也发现高度近视眼的角膜曲率明显下降,因此,眼轴增长可能会导致角膜曲率代偿性变小,进而引起角膜高阶像差的减少。

本研究同时分析了 SE 与角膜生物力学参数之间的相关性,结果显示 SE 与 A2V 和 HCT 均呈正相关,即提示较高度数近视儿童的角膜硬度较低,在外力作用下更容易发生形变,这与之前的研究结果一致,He 等^[21]和 Tubtimthong 等^[22]在成人及儿童人群中均发现较高度数的近视患者拥有较低的角膜硬度。本研究未发现 SE 与角膜高阶像差之间具有相关性,以往关于 SE 与高阶像差的相关性研究也尚无统一结论,席雷等^[23]和 Wang 等^[24]对轻中度近视患者的研究表明角膜高阶像差与 SE 无相关关系,也有研究发现高屈光度近视患者角膜高阶像差更大^[25-26]。

表 3 影响角膜高阶像差的多因素线性回归分析

高阶像差	A2T				HCR				AL			
	β	标准误差	<i>t</i>	<i>P</i>	β	标准误差	<i>t</i>	<i>P</i>	β	标准误差	<i>t</i>	<i>P</i>
RMS3	0.072	0.035	2.057	0.026	-	-	-	-	-0.030	0.011	-2.767	0.006
RMS4	-	-	-	-	-0.021	0.008	-2.572	0.011	-0.028	0.010	-2.708	0.007

注:A2T:第2次压平时间;HCR:最大压陷时反向曲率半径;AL:眼轴长度;RMS3:三阶像差;RMS4:四阶像差;RMSH:总高阶像差。

研究结果的差异可能与患者年龄、角膜曲率及所研究的样本量等的差异有关。

本研究未发现眼压及 CCT 与角膜高阶像差具有相关性,以往对于角膜高阶像差与 CCT 及眼压之间相关性的研究结论也并不一致^[4, 27],需要进一步研究。

综上所述,近视儿童角膜生物力学参数与角膜高阶像差间存在相关性,硬度较高、抗变形能力较强的角膜,RMS3、RMS4、RMSH 较小。目前关于角膜生物力学特性与高阶像差相关性的研究还比较少,本研究结论可为预防和控制近视的个性化方法选择及屈光手术的合理设计、疗效的预测等提供参考和方向。

参考文献

- Lau JK, Vincent SJ, Collins MJ, et al. Ocular higher-order aberrations and axial eye growth in young Hong Kong children. *Sci Rep* 2018;8:6726
- Hiraoka T, Kotsuka J, Kakita T, et al. Relationship between higher-order wavefront aberrations and natural progression of myopia in schoolchildren. *Sci Rep* 2017;7(1):7876
- Winkler M, Chai D, Kriling S, et al. Nonlinear optical macroscopic assessment of 3-D corneal collagen organization and axial biomechanics. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011;52(12):8818-8827
- Qu J, Lu F, Wu JX, et al. Wavefront aberration and its association with intraocular pressure and central corneal thickness in myopic eyes. *J Cataract Refract Surg* 2007;33(8):1447-1454
- Zeng J, Lan GP, Zhu M, et al. Factors associated with corneal high-order aberrations before and after femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis. *Ann Transl Med* 2021;9(12):989
- Gobbe M, Reinstein DZ, Archer TJ. LASIK-induced aberrations: comparing corneal and whole-eye measurements. *Optom Vis Sci* 2015;92(4):447-455
- Wu WJ, Wang Y. The correlation analysis between corneal biomechanical properties and the surgically induced corneal high-order aberrations after small incision lenticule extraction and femtosecond laser *in situ* keratomileusis. *J Ophthalmol* 2015;2015:758196
- Karimian F, Feizi S, Doozande A. Higher-order aberrations in myopic eyes. *J Ophthalmic Vis Res* 2010;5(1):3-9
- Xu YZ, Ye YM, Chong IT, et al. A novel indentation assessment to measure corneal biomechanical properties in glaucoma and ocular hypertension. *Transl Vis Sci Technol* 2021;10(9):36
- 李晓晶, 王雁, 吴雅楠, 等. 角膜前、后表面像差在近视及近视散光人眼中的分布特点及补偿机制的初步研究. *中华眼科杂志* 2016;52(11):840-849
- Zhang X, Ma JH, Xi X, et al. Characteristics of corneal high-order aberrations in adolescents with mild to moderate myopia. *BMC Ophthalmol* 2020;20(1):465
- 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

- Nemeth G, Szalai E, Hassan Z, et al. Corneal biomechanical data and biometric parameters measured with Scheimpflug-based devices on normal corneas. *Int J Ophthalmol* 2017;10(2):217-222
- 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
- 张耀花, 王雁, 窦瑞, 等. 近视眼角膜生物力学特性与角膜高阶像差的相关性. *中华实验眼科杂志* 2018;36(5):368-372
- Wan K, Cheung SW, Wolffsohn JS, et al. Role of corneal biomechanical properties in predicting of speed of myopic progression in children wearing orthokeratology lenses or single-vision spectacles. *BMJ Open Ophthalmol* 2018;3(1):e000204
- Shimozono M, Uemura A, Hiram Y, et al. Corneal spherical aberration of eyes with cataract in a Japanese population. *J Refract Surg* 2010;26(6):457-459
- Jin GM, Liu ZZ, Wang LH, et al. Corneal biometric features and their association with axial length in high myopia. *Am J Ophthalmol* 2022;238:45-51
- Li X, Hu Q, Wang QR, et al. Analysis of ocular structural parameters and higher-order aberrations in Chinese children with myopia. *World J Clin Cases* 2021;9(27):8035-8043
- Lee MW, Lee SE, Lim HB, et al. Longitudinal changes in axial length in high myopia: a 4-year prospective study. *Br J Ophthalmol* 2020;104(5):600-603
- He M, Ding H, He H, et al. Corneal biomechanical properties in healthy children measured by corneal visualization scheimpflug technology. *BMC Ophthalmol* 2017;17(1):70
- Tubtimthong A, Chansangpetch S, Ratprasatporn N, et al. Comparison of corneal biomechanical properties among axial myopic, nonaxial myopic, and nonmyopic eyes. *Biomed Res Int* 2020;2020:8618615
- 席雷, 鲍永珍. 轴性高度近视眼高阶像差与眼轴长度及屈光度的相关性研究. *眼科新进展* 2018;38(10):913-916
- Wang Y, Zhao KX, Yang XY, et al. Higher order aberrations and low contrast vision function in myopic eyes (-3.00 to -6.00 D) under mesopic conditions. *J Refract Surg* 2011;27(2):127-134
- Kwan WC, Yip SP, Yap MK. Monochromatic aberrations of the human eye and myopia. *Clin Exp Optom* 2009;92(3):304-312
- Yazar S, Hewitt AW, Forward H, et al. Comparison of monochromatic aberrations in young adults with different visual acuity and refractive errors. *J Cataract Refract Surg* 2014;40(3):441-449
- Mohamed EM, Wojtowicz JC, Bowman W, et al. Corneal thickness association with ocular and corneal high-order aberrations. *Eye Contact Lens* 2009;35(6):297-301