

配戴角膜塑形镜早期角膜高阶像差变化及其影响因素

张旭 王雁 徐路路

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
300020

张旭, 在职博士研究生, 现工作于保定鹰华眼科医院, 保定 071000

通信作者: 王雁, Email: wangyan7143@vip. sina. com

【摘要】 目的 观察近视患者配戴角膜塑形镜早期角膜前后表面高阶像差的变化特点及其影响因素。

方法 采用系列病例观察研究设计。连续收集 2018 年 1—4 月在保定鹰华眼科医院成功验配角膜塑形镜的近视患者 46 例 46 眼, 分别进行戴镜前及戴镜后 1 个月的角膜像差、角膜离心率 e 值测量。应用 Pentacam 三维眼前节分析仪测量并分析角膜形态, 记录 6 mm 内角膜前后表面鼻侧、颞侧、上方、下方各方向 e 值, Zernike 分析计算以角膜顶点为中心 6 mm 直径范围内的前表面、后表面和全角膜 Z_3^3 、 Z_3^{-3} 、 Z_3^1 、 Z_3^{-1} 和 Z_4^0 值。

结果 配戴角膜塑形镜后, 角膜前表面和全角膜水平彗差、垂直彗差和球差的值向正向漂移, 角膜后表面水平彗差、球差的值向负向漂移, 与戴镜前比较差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。戴镜前 e_{Nf} 、 e_{Tf} 、 e_{If} 、 e_{Sf} 、 e_{Mf} 分别为 0.580 (0.450, 0.670)、0.455 (0.378, 0.513)、0.485 (0.268, 0.553)、0.665 (0.578, 0.740)、0.505 ± 0.015, 戴镜后分别为 0.285 (-0.635, 0.665)、-0.605 (-0.813, -0.335)、-0.545 (-0.765, 0.305)、-0.335 (-0.705, 0.423)、-0.247 ± 0.058, 戴镜后各个方向角膜前表面由陡峭变为平坦, 与戴镜前比较差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。多元逐步线性回归分析结果显示, 配戴角膜塑形镜后全角膜球差与角膜 e 值、初始屈光度均呈中度负相关 ($r_s = -0.626$ 、 -0.450 , 均 $P < 0.05$), 水平彗差与颞侧 e 值中度负相关 ($r_s = -0.391$, $P = 0.004$); 戴镜后角膜前表面球差与角膜 e 值、初始屈光度呈中度负相关 ($r_s = -0.612$ 、 -0.432 , 均 $P < 0.05$), 水平彗差与颞侧 e 值中度负相关 ($r_s = -0.400$, $P = 0.003$); 戴镜后角膜后表面水平彗差与角膜前表面水平彗差呈负相关 ($r_s = -0.380$, $P = 0.009$)。 **结论** 配戴角膜塑形镜后, 全角膜和前表面球差、彗差正向漂移; 角膜后表面球差、水平彗差负向漂移。戴镜前屈光度和角膜前表面变化大小是引起角膜高阶像差变化的重要影响因素。

【关键词】 近视/治疗; 角膜塑形镜; 高阶像差; 角膜 e 值

基金项目: 国家自然科学基金项目 (81873684)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2020.02.005

Changes in corneal high-order aberrations and their influencing factors in early stages following orthokeratology contact lens wear

Zhang Xu, Wang Yan, Xu Lulu

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

Zhang Xu is now working at Baoding Yinghua Eye Hospital, Baoding 071000, China

Corresponding author: Wang Yan, Email: wangyan7143@vip. sina. com

[Abstract] Objective To evaluate changes in corneal high-order aberrations after the wearing of orthokeratology contact lenses and to study the factors influencing those changes. **Methods** A series of case-observational method was used. Data on 46 right myopic eyes of 46 children fitted for orthokeratology were continuously collected from January to April 2018. The corneal morphology, the e values of the anterior and posterior corneal surface in the nasal, temporal, superior and inferior zones within 6 mm were measured with Pentacam Anterior Segment Analysis System before and one month after the wearing of orthokeratology contact lens. Zernike Analysis System was used to calculate the values of Z_3^3 , Z_3^{-3} , Z_3^1 , Z_3^{-1} , and Z_4^0 on the anterior and posterior surfaces and on the

total cornea within a diameter of 6 mm. This study conformed to the tenets of the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics Committee of Baoding Yinghua Eye Hospital (No. YKLL-2018-1-01). Written informed consent was obtained from each child and their guardians prior to entering the study cohort. **Results**

Compared to the values recorded prior to orthokeratology contact lens wear, the horizontal coma, vertical coma, and spherical aberration of the total cornea and anterior corneal surface were drifted positively after lens wear; the horizontal coma and spherical aberration of the posterior corneal surface were drifted negatively after lens wear; and the differences were statistically significant (all at $P < 0.05$). Before wearing orthokeratology contact lenses, e_{Nf} , e_{Tf} , e_{If} , e_{Sf} and e_{Mf} values were 0.580 (0.450, 0.670), 0.455 (0.378, 0.513), 0.485 (0.268, 0.553), 0.665 (0.578, 0.740) and 0.505 ± 0.015, respectively, and after wearing orthokeratology contact lenses, e_{Nf} , e_{Tf} , e_{If} , e_{Sf} and e_{Mf} values were 0.285 (-0.635, 0.665), -0.605 (-0.813, -0.335), -0.545 (-0.765, 0.305), -0.335 (-0.705, 0.423) and -0.247 ± 0.058, respectively. Compared with the conditions prior to wearing orthokeratology contact lens, the anterior corneal surface in all parts changed from steep to flat after lens wear, with statistically significant differences between them (all at $P < 0.05$). The results of multiple stepwise linear regression showed that after wearing orthokeratology contact lens, the spherical aberration of the total cornea was moderately negatively correlated with the corneal e value and the initial diopter ($r_s = -0.626, -0.450$; both at $P < 0.05$), the horizontal coma of the total cornea was moderately negatively correlated with the temporal e value ($r_s = -0.391, P = 0.004$); the spherical aberration of the anterior corneal surface was moderately negatively correlated with the corneal e value and the initial diopter ($r_s = -0.612, -0.432$; both at $P < 0.05$); the horizontal coma of the anterior corneal surface was moderately negatively correlated with the temporal e value ($r_s = -0.400, P = 0.003$); and the horizontal coma of the posterior corneal surface was negatively correlated with the horizontal coma of the anterior corneal surface ($r_s = -0.380, P = 0.009$).

Conclusions The spherical aberration and coma of the total cornea and anterior corneal surface drift positively after wearing orthokeratology contact lens, and the spherical aberration and horizontal coma of the posterior corneal surface drift negatively. The refraction and deformation of the anterior surface of the cornea are important factors affecting variation in corneal high-order aberrations.

[Key words] Myopia/management; Orthokeratology; High-order aberration; Corneal eccentricity e values

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81873684)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2020.02.005

近年来随着近视发病率的升高,角膜塑形镜广泛应用于临床,有研究证实可延缓近视进展^[1-3],但发现部分近视者配戴角膜塑形镜后出现光晕、眩光、夜间视力下降等症状。角膜塑形镜是一种逆几何设计的硬性透氧性角膜接触镜^[4],配戴后引起角膜形变,从而产生高阶像差,而高阶像差是影响人眼视觉质量的重要因素。研究表明,角膜表面形态对角膜弹性塑形效果影响较大,e值越大,塑形效果越好^[3]。以往对配戴角膜塑形镜后角膜像差变化的研究多基于Placido环的角膜地形图检查仪,仅能评估角膜前表面形变及前表面像差。Pentacam三维眼前节分析仪应用Scheimpflu原理对角膜进行360°匀速旋转扫描,其重复性、可靠性得到证实,广泛用于角膜前、后表面形态及像差的测量^[5-6],目前鲜见国内外关于配戴角膜塑形镜患者角膜前、后表面像差变化的相关报道。配戴角膜塑形镜后角膜后表面高阶像差是如何变化的以及角膜后表面高阶像差是否对前表面仍有补偿作用等问题尚未阐明。本研究中采用Pentacam眼前节全景仪观察角膜

塑形镜配戴前后角膜前后表面的像差变化并分析其影响因素,对角膜塑形镜塑形后角膜光学特性变化及形态变化的机制进行探讨。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用系列病例观察研究方法,连续收集2018年1—4月在保定鹰华眼科医院成功验配角膜塑形镜的近视患者46例46眼,其中男16例,占36%,女30例,占64%;年龄8~16岁,平均(11.74 ± 0.41)岁;等效球镜度为-1.00~-6.50 D,平均(-3.49 ± 0.22) D;眼轴长度为23.52~27.07 mm,平均(24.94 ± 0.13) mm;K₁f为40.0~45.00 D,平均(42.65 ± 0.18) D;K₂f为40.87~46.60 D,平均(43.75 ± 0.20) D;K₁b为-5.70~-6.70 D,平均(-6.19 ± 0.03) D;K₂b为-6.10~-7.20 D,平均(-6.53 ± 0.04) D;角膜厚度为491~631 μm,平均(551.67 ± 5.07) μm;角膜塑形镜中心定位,视力均稳定在1.0以上。纳入标准:(1)年龄8~16岁;(2)除屈

光不正外,无其他眼部疾病;(3)眼压 <21 mmHg (1 mmHg= 0.133 kPa);(4)为避免双眼发育的相关性及像差的方向性影响,均选取右眼进行分析。患者依从性好并自愿戴镜及随访 1 个月以上。排除标准:(1)眼部存在急慢性炎症、干眼、青光眼、白内障、眼底病等眼部疾患者;(2)有家族遗传性疾病及全身性疾病者。本研究遵循赫尔辛基宣言,研究方案经保定鹰华眼科医院医学伦理委员会审核批准(批文号:YKLL-2018-1-01)。所有青少年儿童及其监护人在获得充分解释后签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 检查方法

采用标准对数视力表检查裸眼视力,均行客观验光和主观验光,患者均采用裂隙灯显微镜行眼前后节、泪膜和角膜内皮镜检查。采用 IOL-Master 光学生物测量仪(2.0 版本,德国 Zeiss 公司)测量眼轴长度,测量重复 5 次并取平均值。采用 Pentacam 三维眼前节分析仪(70700 版本,德国 Oculus 公司)测量角膜曲率、角膜厚度、角膜形态及角膜像差,检查时受检者取坐位,自然瞳孔下于暗室环境进行。输入受检者信息,受检者下颌置于下颌托,受检者双眼注视闪烁的蓝灯,检查者对焦,然后以 25 帧 Scheimpflug 图像重建眼前节三维结构,测量角膜前后表面曲率,记录 6 mm 范围内角膜前、后表面鼻侧、颞侧、上方、下方、平均值 e 值,以 Zernike 分析计算以角膜顶点为中心 6 mm 范围内前、后表面及全角膜 Z_3^3 、 Z_3^{-3} 、 Z_3^1 、 Z_3^{-1} 、 Z_4^0 值。仅选取检查质量参数显示为“OK”者,即该测量结果重复性可以再现。上述检查均由同一位操作熟练的技师完成。

1.2.2 角膜塑形镜的验配及随访

根据近视患者角膜曲率和初始屈光度,按角膜塑形镜的标准验配程序进行试戴评估,根据镜片中心定位、移动度、荧光环及边弧是否理想确定最后镜片参数。指导患者采用合适的方法进行配戴及镜片护理,并嘱患者严格遵守配戴时间,制定随访计划。采用夜戴型角膜塑形镜(美国欧几里德公司),镜片采用美国 Boston XO 材料,透氧系数为 $100 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}[\text{mlO}_2/(\text{ml} \times \text{mmHg})]$ 。夜间配戴角膜塑形镜 8~10 h,晨起摘镜。

嘱患者定期复查,如有眼部异常症状则随时复诊。复诊时行裂隙灯显微镜检查、裸眼视力检查、电脑验光及主观验光,并采用 Pentacam 眼前节全景仪检查。所有复查时间均安排在上,取下镜片 2 h 以内完成。连续配戴角膜塑形镜后 2 周,白天摘镜裸眼视力均达到 1.0,1 个月时配戴效果均稳定,与文献[7-8]的结果一致,故本研究中选取戴镜前和戴镜后 1 个月为观

察时间点。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 22.0 统计学软件(美国 IBM 公司)进行统计分析。计量资料经 Kolmogorov-Smirnov 检验符合正态分布数据以 $\text{mean} \pm \text{SD}$ 表示,受试眼戴镜前后角膜像差值差异比较采用配对 t 检验;不符合正态分布者以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,受试眼戴镜前后角膜像差值差异比较采用 Wilcoxon 符号秩检验。采用 Spearman 秩相关分析法评估各指标间的关系,并在此基础上采用多元逐步线性回归模型分析建立配戴角膜塑形镜后角膜像差与初始屈光度、角膜 e 值的回归方程。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 角膜塑形镜配戴前后角膜高阶像差变化

配戴角膜塑形镜后,角膜前表面、全角膜水平彗差的值呈正向漂移,角膜后表面水平彗差的值呈负向漂移,与戴镜前比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);角膜前表面、全角膜垂直彗差值呈正向漂移,与戴镜前比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);角膜后表面垂直彗差变化不明显,与戴镜前比较差异无统计学意义($P = 0.371$);角膜前表面、全角膜球差值呈正向漂移,角膜后表面球差值呈负向漂移,与戴镜前比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。角膜塑形镜配戴后角膜三叶草像差均无明显变化,与戴镜前比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)(表 1)。

2.2 角膜塑形镜配戴后角膜形态变化

戴镜后各个方向角膜前表面由陡峭变为平坦,角膜前表面 e 值与戴镜前比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);戴镜后角膜后表面 e 值与戴镜前比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)(表 2)。

2.3 角膜塑形镜配戴后角膜高阶像差的影响因素

配戴角膜塑形镜后全角膜高阶像差的影响因素分析结果显示,球差与角膜 e 值、初始屈光度均呈中度负相关($r_s = -0.626, P < 0.001; r_s = -0.450, P = 0.001$)。回归分析表明屈光度数越高,戴镜后角膜越平坦,角膜球差正向漂移越明显($t = -4.738, P < 0.001; t = -2.634, P = 0.012$);水平彗差与颞侧 e 值中度负相关($r_s = -0.391, P = 0.004$),回归分析表明颞侧角膜越平坦,全角膜、角膜前表面水平彗差值向正向漂移($t = -2.816, P = 0.007$);垂直彗差与下方 e 值弱负相关($r_s = -0.298, P = 0.022$),回归分析表明下方角膜越平坦,全角膜垂直彗差值向正向漂移($t = -2.067, P = 0.045$)(表 3,图 1~3)。

表 1 角膜塑形镜配戴前后角膜高阶像差比较
Table 1 Comparison of corneal high order aberration before and after wearing orthokeratology contact lens

组别	眼数	$Z_3^3f[M(Q_1, Q_3)]^a$	$Z_3^3b[M(Q_1, Q_3)]^a$	$Z_3^3[M(Q_1, Q_3)]^a$	$Z_3^{-3}f(\text{mean}\pm\text{SD})^b$	$Z_3^{-3}b(\text{mean}\pm\text{SD})^b$
戴镜前	46	-0.085(-0.148,0.007)	-0.012(-0.054,0.040)	-0.112(-0.203,-0.052)	-0.009±0.019	-0.042±0.012
戴镜后	46	-0.005(-0.124,0.151)	0.014(-0.046,0.047)	0.015(-0.182, 0.161)	-0.021±0.025	-0.025±0.013
<i>t</i> 值/ <i>Z</i> 值		-1.912	-0.421	-1.95	0.438	-1.067
<i>P</i> 值		0.56	0.674	0.051	0.663	0.291

组别	眼数	$Z_3^{-3}[M(Q_1, Q_3)]^a$	$Z_3^1f[M(Q_1, Q_3)]^a$	$Z_3^1b[M(Q_1, Q_3)]^a$	$Z_3^1[M(Q_1, Q_3)]^a$	$Z_3^{-1}f[M(Q_1, Q_3)]^a$
戴镜前	46	-0.053(-0.144,0.042)	-0.109(-0.181,-0.042)	-0.006(-0.025, 0.008)	-0.121(-0.197,-0.064)	0.007(-0.102,0.117)
戴镜后	46	-0.044(-0.119,0.081)	0.246(-0.047, 0.465)	-0.020(-0.038,-0.001)	0.259(-0.024, 0.528)	0.072(-0.121,0.533)
<i>t</i> 值/ <i>Z</i> 值		-0.574	-3.496	-2.677	-3.48	-1.994
<i>P</i> 值		0.566	<0.001	0.007	0.001	0.046

组别	眼数	$Z_3^{-1}b(\text{mean}\pm\text{SD})^b$	$Z_3^{-1}[M(Q_1, Q_3)]^a$	$Z_4^0f(\text{mean}\pm\text{SD})^b$	$Z_4^0b(\text{mean}\pm\text{SD})^b$	$Z_4^0(\text{mean}\pm\text{SD})^b$
戴镜前	46	0.005±0.006	0.003(-0.126,0.116)	0.240±0.011	-0.142±0.004	0.208±0.012
戴镜后	46	0.000±0.007	0.256(-0.131,0.640)	0.701±0.047	-0.153±0.004	0.698±0.054
<i>t</i> 值/ <i>Z</i> 值		0.903	-2.136	-9.289	2.97	-8.71
<i>P</i> 值		0.371	0.033	<0.001	0.005	<0.001

注: Z_3^3f :角膜前表面三叶草像差 0; Z_3^3b :角膜后表面三叶草像差 0; Z_3^3 :角膜三叶草像差 0; Z_3^3f :角膜前表面三叶草像差 30; Z_3^3b :角膜后表面三叶草像差 30; Z_3^{-3} :角膜三叶草像差 30; Z_3^1f :角膜前表面水平彗差; Z_3^1b :角膜后表面水平彗差; Z_3^1 :角膜水平彗差; $Z_3^{-1}f$:角膜前表面垂直彗差; $Z_3^{-1}b$:角膜后表面垂直彗差; Z_3^{-1} :角膜垂直彗差; Z_4^0f :角膜前表面球差; Z_4^0b :角膜后表面球差; Z_4^0 :角膜球差(a:Wilcoxon 符号秩检验;b:配对 *t* 检验)

Note: Z_3^3f :clover aberration 0 of the anterior corneal surface; Z_3^3b :clover aberration 0 of the posterior corneal surface; Z_3^3 :clover aberration 0 of the total cornea; Z_3^3f :clover aberration 30 of the anterior corneal surface; Z_3^3b :clover aberration 30 of the posterior corneal surface; Z_3^{-3} :clover aberration 30 of the total cornea; Z_3^1f :horizontal coma of the anterior corneal surface; Z_3^1b :horizontal coma of the posterior corneal surface; Z_3^1 :horizontal coma of the total cornea; $Z_3^{-1}f$:vertical coma of the anterior corneal surface; $Z_3^{-1}b$:vertical coma of the posterior corneal surface; Z_3^{-1} :vertical coma of the total cornea; Z_4^0f :spherical aberration of the anterior corneal surface; Z_4^0b :spherical aberration of the posterior corneal surface; Z_4^0 :spherical aberration of the total cornea(a:Wilcoxon symbol rank test;b:paired *t* test)

表 2 角膜塑形镜配戴前后角膜前后表面 e 值比较
Table 2 Comparison of e values of cornea before and after wearing orthokeratology contact lens

组别	眼数	$e_{Nf}[M(Q_1, Q_3)]^a$	$e_{Tf}[M(Q_1, Q_3)]^a$	$e_{If}[M(Q_1, Q_3)]^a$	$e_{Sf}[M(Q_1, Q_3)]^a$	$e_{Mf}(\text{mean}\pm\text{SD})^b$
戴镜前	46	0.580(0.450,0.670)	0.455(0.378, 0.513)	0.485(0.268,0.553)	0.665(0.578,0.740)	0.505±0.015
戴镜后	46	0.285(-0.635,0.665)	-0.605(-0.813,-0.335)	-0.545(-0.765,0.305)	-0.335(-0.705,0.423)	-0.247±0.058
<i>t</i> 值/ <i>Z</i> 值		-4.024	-5.594	-5.026	-5.512	12.245
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

组别	眼数	$e_{Nb}[M(Q_1, Q_3)]^a$	$e_{Tb}[M(Q_1, Q_3)]^a$	$e_{Ib}[M(Q_1, Q_3)]^a$	$e_{Sb}[M(Q_1, Q_3)]^a$	$e_{Mb}(\text{mean}\pm\text{SD})^b$
戴镜前	46	0.195(-0.350,0.345)	0.170(-0.395,0.400)	0.240(-0.363,0.400)	0.790(0.630,0.915)	0.210±0.033
戴镜后	46	0.300(-0.440,0.453)	-0.225(-0.435,0.373)	0.090(-0.395,0.363)	0.710(0.520,0.880)	0.159±0.033
<i>t</i> 值/ <i>Z</i> 值		-0.807	-1.383	-1.332	-1.818	1.817
<i>P</i> 值		0.42	0.167	0.183	0.069	0.076

注: e_{Nf} :角膜前表面鼻侧 e 值; e_{Tf} :角膜前表面颞侧 e 值; e_{If} :角膜前表面下方 e 值; e_{Sf} :角膜前表面上方 e 值; e_{Mf} :角膜前表面 e 值均值; e_{Nb} :角膜后表面鼻侧 e 值; e_{Tb} :角膜后表面颞侧 e 值; e_{Ib} :角膜后表面下方 e 值; e_{Sb} :角膜后表面上方 e 值; e_{Mb} :角膜后表面 e 值均值(a:Wilcoxon 符号秩检验;b:配对 *t* 检验)

Note: e_{Nf} :nasal e value of the anterior corneal surface; e_{Tf} :temporal e value of the anterior corneal surface; e_{If} :inferior e value of the anterior corneal surface; e_{Sf} :superior e value of the anterior corneal surface; e_{Mf} :mean e value of the anterior corneal surface; e_{Nb} :nasal e value of the posterior corneal surface; e_{Tb} :temporal e value of the posterior corneal surface; e_{Ib} :inferior e value of the posterior corneal surface; e_{Sb} :superior e value of the posterior corneal surface; e_{Mb} :mean e value of the posterior corneal surface(a:Wilcoxon symbol rank test;b:paired *t* test)

表 3 角膜塑形镜配戴后全角膜高阶像差的影响因素
Table 3 The influence factors of high order aberrations of the total cornea after wearing orthokeratology contact lens

全角膜像差	回归方程	F 值	P 值	调整后 R ²
Z ₄ ⁰	Z ₄ ⁰ = 0.315 - 0.514e - 0.076Ref	19.538	<0.001	0.452
Z ₃ ¹	Z ₃ ¹ = -0.309 - 0.385e _{Tr}	7.932	0.007	0.153
Z ₃ ⁻¹	Z ₃ ⁻¹ = -0.240 - 0.269e _{IF}	4.273	0.045	0.089

注: Z₄⁰: 全角膜球差; Z₃¹: 角膜水平彗差; Z₃⁻¹: 角膜垂直彗差; e: 角膜 e 值; Ref: 初始屈光度; e_{Tr}: 角膜前表面颞侧 e 值

Note: Z₄⁰: spherical aberration of the total cornea; Z₃¹: horizontal coma of the total cornea; Z₃⁻¹: vertical coma of the total cornea; e: e value of the total cornea; Ref: initial refractive diopter; e_{Tr}: temporal e value of the anterior corneal surface

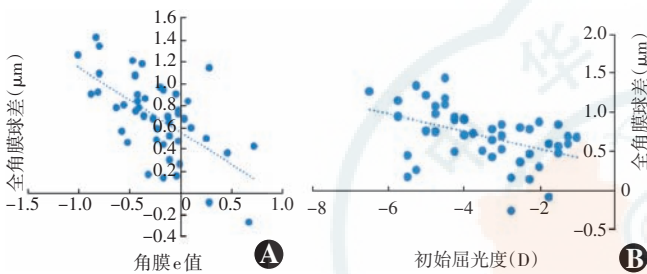


图 1 配戴角膜塑形镜后全角膜球差 (Z₄⁰) 与初始屈光度 (Ref)、角膜 e 值 (e 值) 的相关性 (Spearman 秩相关分析, n = 46) A: 全角膜球差 (Z₄⁰) 与角膜 e 值呈中度负相关 (r_s = -0.626, P < 0.001) B: 全角膜球差 (Z₄⁰) 与初始屈光度呈中度负相关 (r_s = -0.450, P = 0.001)

Figure 1 Correlation between spherical aberration of the total cornea (Z₄⁰) and initial diopter (Ref), corneal e value (e value) after wearing orthokeratology contact lens (Spearman rank correlation analysis, n = 46) A: The spherical aberration of the anterior corneal surface (Z₄⁰) was moderately negatively correlated with the corneal e value (r_s = -0.626, P < 0.001) B: The spherical aberration of the anterior corneal surface (Z₄⁰) was moderately negatively correlated with initial diopter (r_s = -0.450, P = 0.001)

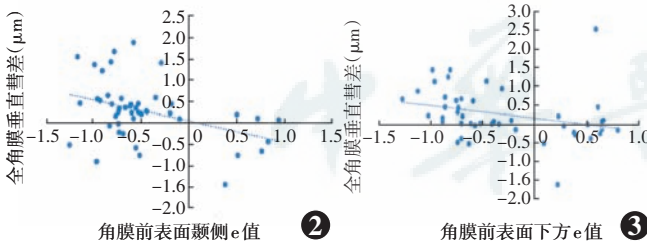


图 2 配戴角膜塑形镜后全角膜水平彗差 (Z₃¹) 与角膜前表面颞侧 e 值 (e_{Tr}) 的相关性 (Spearman 秩相关分析, n = 46) 全角膜水平彗差与颞侧 e 值呈中度负相关 (r_s = -0.391, P = 0.004) **图 3 配戴角膜塑形镜后全角膜垂直彗差 (Z₃⁻¹) 与角膜前表面下方 e 值 (e_{IF}) 的相关性 (Spearman 秩相关分析, n = 46)** 全角膜垂直彗差与下方 e 值弱负相关 (r_s = -0.298, P = 0.022)

Figure 2 Correlation between horizontal coma of the total cornea (Z₃¹) and temporal e value of the anterior corneal surface (e_{Tr}) after wearing orthokeratology contact lens (Spearman rank correlation analysis, n = 46) The horizontal coma of total cornea was moderately negatively correlated with the temporal e value (r_s = -0.391, P = 0.004)

Figure 3 Correlation between vertical coma of the total cornea (Z₃⁻¹) and inferior e value of the anterior corneal surface (e_{IF}) after wearing orthokeratology contact lens (Spearman rank correlation analysis, n = 46) The vertical coma of total cornea was weakly negatively correlated with the inferior e value (r_s = -0.298, P = 0.022)

配戴角膜塑形镜后角膜前表面高阶像差的影响因素分析结果显示,球差与角膜 e 值、初始屈光度呈中度负相关 (r_s = -0.612, P < 0.001; r_s = -0.432, P = 0.001), 回归分析表明屈光度数越高,戴镜后角膜越平坦,角膜球差越正向漂移 (t = -4.551, P < 0.001; t = -2.438, P = 0.019); 水平彗差与颞侧 e 值中度负相关 (r_s = -0.400, P = 0.003), 回归分析表明颞侧角膜越平坦,全角膜、角膜前表面水平彗差值向正向漂移 (t = -2.897, P = 0.006) (表 4, 图 4, 5)。

表 4 角膜塑形镜配戴后角膜前表面高阶像差的影响因素
Table 4 The influence factors of high order aberrations of the anterior corneal surface after wearing orthokeratology contact lens

角膜前像差	回归方程	F 值	P 值	调整后 R ²
Z ₄ ⁰ f	Z ₄ ⁰ f = 0.379 - 0.443e - 0.063Ref	17.658	<0.001	0.425
Z ₃ ¹ f	Z ₃ ¹ f = -0.383 - 0.350e _{Tr}	8.390	0.006	0.160

注: Z₄⁰f: 角膜前表面球差; Z₃¹f: 角膜前表面水平彗差; e: 角膜 e 值; Ref: 初始屈光度; e_{Tr}: 角膜前表面颞侧 e 值

Note: Z₄⁰f: spherical aberration of the anterior corneal surface; Z₃¹f: horizontal coma of the anterior corneal surface; e: e value of the total cornea; Ref: initial refractive diopter; e_{Tr}: temporal e value of the anterior corneal surface

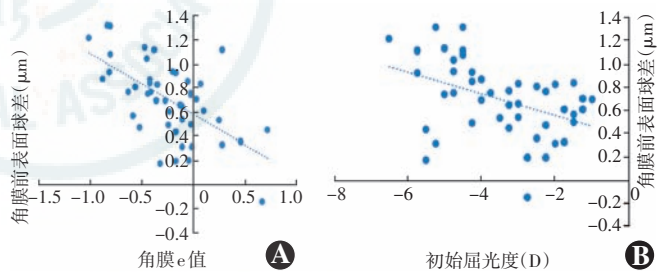


图 4 配戴角膜塑形镜后角膜前表面球差 (Z₄⁰f) 与初始屈光度 (Ref)、角膜 e 值 (e 值) 的相关性 (Spearman 秩相关分析, n = 46) A: 角膜前表面球差与角膜 e 值呈中度负相关 (r_s = -0.612, P < 0.001) B: 角膜前表面球差与初始屈光度呈中度负相关 (r_s = -0.432, P = 0.001)

Figure 4 Correlation between spherical aberration of the anterior corneal surface (Z₄⁰f) and initial diopter (Ref) or corneal e value (e value) after wearing orthokeratology contact lens (Spearman rank correlation analysis, n = 46) A: The spherical aberration of the anterior corneal surface was moderately negatively correlated with the corneal e value (r_s = -0.612, P < 0.001) B: The spherical aberration of the anterior corneal surface was moderately negatively correlated with initial diopter (r_s = -0.432, P < 0.001)

配戴角膜塑形镜后角膜后表面高阶像差的影响因素分析结果显示,球差与角膜前表面球差无明显相关性 (r_s = -0.283, P = 0.057), 回归分析表明角膜前后表面球差变化方向相反,角膜前表面球差正向漂移的同时角膜后表面球差负向漂移,角膜后表面球差与与屈

光度、角膜前后表面 e 值等均无明显相关性 ($r_s = 0.131, P = 0.386; r_s = 0.099, P = 0.512$); 角膜后表面水平彗差与角膜前表面水平彗差呈负相关 ($r_s = -0.380, P = 0.009$), 回归分析表明, 角膜前后表面水平彗差变化方向相反, 角膜前表面水平彗差正向漂移的同时角膜后表面水平彗差负向漂移, 角膜后表面水平彗差与屈光度、角膜前表面 e 值等均无明显相关性 ($r_s = 0.034, P = 0.825; r_s = -0.054, P = 0.721$) (表 5, 图 6)。

表 5 角膜塑形镜配戴后角膜后表面高阶像差的影响因素
Table 5 The influence factors of high order aberrations of the posterior corneal surface after wearing orthokeratology contact lens

角膜前像差	回归方程	F 值	P 值	调整后 R ²
Z ₄ ⁰ b	Z ₄ ⁰ b = -0.138 - 0.021Z ₄ ⁰ f	2.467	0.123	0.053
Z ₃ ¹ b	Z ₃ ¹ b = -0.014 - 0.022Z ₃ ¹ f	9.106	0.004	0.171

注: Z₄⁰b: 角膜后表面球差; Z₄⁰f: 角膜前表面球差; Z₃¹b: 角膜后表面水平彗差; Z₃¹f: 角膜前表面水平彗差

Note: Z₄⁰b: spherical aberration of the posterior corneal surface; Z₄⁰f: spherical aberration of the anterior corneal surface; Z₃¹b: horizontal coma of the posterior corneal surface; Z₃¹f: horizontal coma of the anterior corneal surface

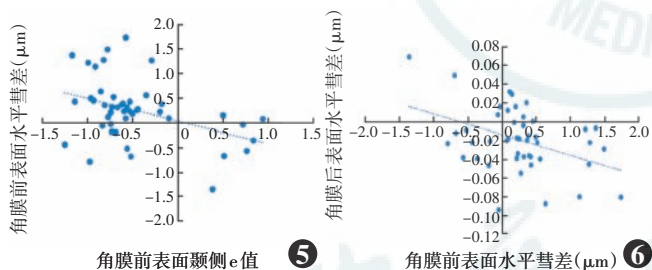


图 5 配戴角膜塑形镜后角膜前表面水平彗差 (Z₃¹f) 与角膜前表面颞侧 e 值 (e_{Tr}) 的相关性 (Spearman 秩相关分析, n = 46) 角膜前表面水平彗差与颞侧 e 值中度负相关 ($r_s = -0.400, P = 0.003$) **图 6 配戴角膜塑形镜后角膜后表面水平彗差 (Z₃¹b) 与角膜前表面水平彗差 (Z₃¹f) 的相关性 (Spearman 秩相关分析, n = 46)** 角膜后表面水平彗差与角膜前表面水平彗差呈负相关 ($r_s = -0.380, P = 0.009$)

Figure 5 Correlation between horizontal coma of the anterior corneal surface (Z₃¹f) and temporal e value of the anterior corneal surface (e_{Tr}) after wearing orthokeratology contact lens (Spearman rank correlation analysis, n = 46) The horizontal coma of the anterior corneal surface was moderately negatively correlated with the temporal e value ($r_s = -0.400, P = 0.003$) **Figure 6 Correlation between horizontal coma of the posterior corneal surface (Z₃¹b) and horizontal coma of the anterior corneal surface (Z₃¹f) after wearing orthokeratology contact lens** (Spearman rank correlation analysis, n = 46) The horizontal coma of the posterior corneal surface was negatively correlated with the horizontal coma of the anterior corneal surface ($r_s = -0.380, P = 0.009$)

3 讨论

目前角膜塑形镜采用四弧形设计, 中间基弧区域作用于角膜中央, 使中央角膜变平, 角膜中央曲率降低, 从而纠正近视性屈光不正, 有效提高患者裸眼视力; 角膜塑形镜中周部反转弧区使得中周部角膜变陡峭, 在黄斑周边部视网膜形成近视性离焦, 延缓眼轴增长, 达到控制近视进展的效果^[9]。角膜塑形镜纠正了配戴者的近视度数, 暂时提高了近视患者日间裸眼视力, 但由于增加了角膜的不规则性及中周部近视离焦环的存在, 角膜高阶像差也相应增加。本研究中采用 Pentacam 眼前节全景仪观察角膜塑形镜配戴前后角膜前后表面的像差变化, 对角膜塑形镜塑形后角膜光学特性变化及形态变化的机制进行探讨。

本研究中首先观察了角膜塑形稳定以后角膜前后表面高阶像差的变化, 结果显示角膜前后表面球差均发生了明显变化, 角膜前表面球差正向漂移, 与 Little 等^[10]的研究结果一致。因此配戴角膜塑形镜会使得角膜中央表面变平坦, 导致视觉质量的下降, 从而出现视物光晕、眩光、暗视力下降的现象。李晓晶等^[11]的研究通过补偿因子的计算认为近视者角膜前后表面球差具有补偿作用。本研究中观察到角膜后表面球差呈负向漂移的趋势, 考虑与在配戴角膜塑形镜患者中角膜后表面球差的补偿作用加大有关。角膜前表面和全角膜彗差发生了明显变化, 其中全角膜垂直彗差改变更明显, 考虑上下眼睑压力不同, 或者镜片不同位置作用力不同等因素, 导致上、下方角膜塑形程度不一致, 从而引起角膜垂直彗差增加。本研究中还发现角膜后表面水平彗差发生了变化, 并且对角膜前表面水平彗差起到了一定的补偿作用。角膜颞侧的变化最大, 相应角膜前表面球差、水平彗差的变化较大, 影响视觉质量, 角膜后表面球差、水平彗差的补偿作用突显出来。角膜球差、彗差是影响近视患者配戴角膜塑形镜后视觉质量的重要因素^[12]。本研究中角膜三叶草像差在角膜塑形前后无明显变化。配戴角膜塑形镜后全角膜、角膜前表面的球差、彗差向正向漂移, 角膜后表面球差、水平彗差对角膜前表面球差、水平彗差变化均具有补偿作用, 这种角膜后表面的光学补偿作用应在视光学的研究中加以重视。

戴镜后角膜上皮层重新排列, 角膜前表面形态发生明显变化。e 值是用来反映角膜形态的敏感指标, 它与角膜非球面系数 Q 值可以进行公式转换, 即 $Q = -e^{2[13]}$ 。1971 年, Mandell 等^[14]首次证实了角膜前表面为非球面形态, 多数角膜为中央到周边逐渐变平坦

的椭圆形。以往的研究认为在角膜塑形镜验配过程中角膜 e 值对角膜弹性塑形效果影响较大, e 值越大, 塑形效果越好^[3]。配戴角膜塑形镜后角膜前表面形态发生明显改变, 而且各个方向角膜均由长椭圆形向扁椭圆形发展, 即角膜由陡峭变平坦, 其中颞侧、下方角膜变化最明显, 而塑形后角膜后表面形态未发生明显改变, 与 Si 等^[15]的研究结果一致, 角膜塑形镜仅改变角膜前表面形态, 可逆性重塑了角膜上皮层, 而对于角膜整体形态, 特别是内表面影响较小。

本研究中重点分析了配戴角膜塑形镜后角膜像差的影响因素, 塑形后角膜像差主要受初始屈光度和塑形后角膜形态的影响。塑形后角膜后表面形态未发生明显改变, 初始屈光度、戴镜后角膜前表面形态与角膜后表面像差变化均无相关性。初始近视度数越高, 角膜前表面、全角膜球差正向漂移越明显, 即需要矫正的屈光度越高, 角膜中央矢高变化越明显, 角膜像差增加越多。有研究表明, 角膜塑形镜对于高度近视患者控制效果更佳^[16], 其是否与角膜球差后表面补偿增加有关, 仍需进一步研究。塑形后, 随着 e 值减小, 角膜变平坦, 全角膜、角膜前表面球差正向漂移越明显; 颞侧 e 值与全角膜、角膜前表面水平彗差具有相关性, 即颞侧越平坦, 角膜前表面水平彗差正向漂移越明显; 下方 e 值与全角膜垂直彗差具有相关性, 即下方越平坦, 角膜前表面垂直彗差正向漂移越明显。角膜彗差主要描述角膜的不对称性^[17], 眼睑压力不同导致塑形后角膜颞侧及下方的角膜相对平坦, 从而导致相应角膜彗差的变化。

对于近视的矫正, 角膜塑形镜和角膜屈光手术均改变了角膜形态。近视屈光手术通过对角膜中央光学区切削一定量的角膜基质达到矫正近视的目的, 使角膜中央变平。屈光手术可以有效控制术后角膜像差的增加, 苏小连等^[18]研究表明, Q 值引导的准分子激光角膜原位磨镶术可以获得更好的术后视觉质量。角膜的非球面性是影响角膜球差大小的重要因素, 也是影响视觉质量的关键因素之一。 Q 值设置为 -0.4 时被认为与波前像差引导的手术效果相等^[19]。如果角膜塑形镜在使角膜变平坦的同时, 增加塑形的非球面设计, 便能提高配戴者的视觉质量, 推测也更能提高患者控制近视的效果; 同样地, 如果将角膜塑形镜的光学特性延伸到屈光手术范畴内, 是否能用屈光手术矫正近视的同时控制近视的进展, 以及其成像特点等仍需扩大样本量进一步研究。

综上所述, 近视患者配戴角膜塑形镜后角膜前表面全角膜彗差、球差均向正向漂移。戴镜后虽然角膜

后表面形态未发生明显变化, 但角膜后表面球差、水平彗差发生负向漂移, 其对角膜前表面的补偿作用增加。初始屈光度和塑形后角膜前表面形态是角膜高阶像差变化的重要影响因素。本研究观察到配戴角膜塑形镜角膜前、后像差变化特点, 但随访时间短, 未来仍需进行长期的随访观察进一步探讨配戴角膜塑形镜后角膜前、后表面像差变化对视功能的影响及其与眼轴增长的关系。

利益冲突 所有作者均声明不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] Sun Y, Xu F, Zhang T, et al. Orthokeratology to control myopia progression: a meta-analysis [J/OL]. PLoS One, 2015, 10(4): e0124535 [2019-08-14]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4391793/>. DOI: 10.1371/journal.pone.0124535.
- [2] Cho P, Cheung SW. Retardation of myopia in Orthokeratology (ROMIO) study: a 2-year randomized clinical trial [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2012, 53(11): 7077-7085. DOI: 10.1167/iovs.12-10565.
- [3] 吕天斌, 王丽娅, 覃建, 等. 角膜塑形镜配戴矫正高度近视的回顾性队列研究 [J]. 中华实验眼科杂志, 2018, 36(2): 144-149. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.02.014.
Lyu TB, Wang LY, Qin J, et al. A retrospective cohort study on orthokeratology for high myopia progression [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2018, 36(2): 144-149. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.02.014.
- [4] Cho P, Cheung SW, Mountford J, et al. Good clinical practice in orthokeratology [J]. Cont Lens Anterior Eye, 2008, 31(1): 17-28. DOI: 10.1016/j.clae.2007.07.003.
- [5] Khoramnia R, Rabsilber TM, Auffarth GU. Central and peripheral pachymetry measurements according to age using the Pentacam rotating Scheimpflug camera [J]. J Cataract Refract Surg, 2007, 33(5): 830-836. DOI: 10.1016/j.jcrs.2006.12.025.
- [6] Shankar H, Taranath D, Santhirathelagan CT, et al. Anterior segment biometry with the Pentacam: comprehensive assessment of repeatability of automated measurements [J]. J Cataract Refract Surg, 2008, 34(1): 103-113. DOI: 10.1016/j.jcrs.2007.09.013.
- [7] Reinstein DZ, Gobbe M, Archer TJ, et al. Epithelial, stromal, and corneal pachymetry changes during orthokeratology [J/OL]. Optom Vis Sci, 2009, 86(8): E1006-1014 [2019-09-01]. <https://insights.ovid.com/crossref?an=00006324-200908000-00013>. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3181b18219.
- [8] Kang SY, Kim BK, Byun YJ. Sustainability of orthokeratology as demonstrated by corneal topography [J]. Korean J Ophthalmol, 2007, 21(2): 74-78. DOI: 10.3341/kjo.2007.21.2.74.
- [9] Charman WN, Mountford J, Atchison DA, et al. Peripheral refraction in orthokeratology patients [J]. Optom Vis Sci, 2006, 83(9): 641-648. DOI: 10.1097/OI.opx.0000232840.66716.af.
- [10] Little JA, McCullough SJ, Breslin KM, et al. Higher order ocular aberrations and their relation to refractive error and ocular biometry in children [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2014, 55(8): 4791-4800. DOI: 10.1167/iovs.13-13533.
- [11] 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 [J]. 中华眼科杂志, 2016, 52(11): 840-849. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2016.11.008.
Li XJ, Wang Y, Wu YN, et al. Distribution and compensation mechanism of aberrations between anterior and posterior surface of the cornea in myopia and myopic astigmatism eyes [J]. Chin J Ophthalmol, 2016, 52(11): 840-849. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2016.11.008.

[12] Wu W, Wang Y. Corneal higher-order aberrations of the anterior surface, posterior surface, and total cornea after SMILE, FS-LASIK, and FLEx surgeries[J]. Eye Contact Lens, 2016, 42(6): 358-365. DOI: 10.1097/ICL.000000000000225.

[13] 王雁, 赵堪兴. 波前像差与临床视觉矫正[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2011: 51-54.
Wang Y, Zhao KX. Wavefront aberration and clinical visual correction [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2011: 51-54.

[14] Mandell RB, St Helen R. Mathematical model of the conical contour [J]. Physiol Opt, 1971, 26: 183-197.

[15] Si JK, Tang K, Bi HS, et al. Orthokeratology for myopia control: a meta-analysis[J]. Optom Vis Sci, 2015, 92(3): 252-257. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000505.

[16] Wen D, Huang J, Chen H, et al. Efficacy and acceptability of orthokeratology for slowing myopic progression in children: a systematic review and meta-analysis [J/OL]. J Ophthalmol, 2015, 2015: 360806 [2019-09-03]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4475749/>. DOI: 10.1155/2015/360806.

[17] 李智敏, 王雁, 杨晓艳, 等. 近视眼角膜前表面形态与角膜高阶像差

的相关分析[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2011, 13(3): 206-209. DOI: 10.3760/ema.j.issn.1674-845X.2011.03.011.

Li ZM, Wang Y, Yang XY, et al. Correlation analysis between anterior corneal surface shape and corneal higher-order aberrations[J]. Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci, 2011, 13(3): 206-209. DOI: 10.3760/ema.j.issn.1674-845X.2011.03.011.

[18] 苏小连, 王雁. 角膜的非球面形态及角膜屈光手术对其的影响[J]. 中华实验眼科杂志, 2015, 33(6): 552-555. DOI: 10.3760/ema.j.issn.2095-0160.2015.06.015.

Su XL, Wang Y. Corneal asphericity and the effects of the corneal refractive surgery on it [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2015, 33(6): 552-555. DOI: 10.3760/ema.j.issn.2095-0160.2015.06.015.

[19] Koller T, Iseli HP, Hafezi F, et al. Q-factor customized ablation profile for the correction of myopic astigmatism[J]. J Cataract Refract Surg, 2006, 32(4): 584-589. DOI: 10.1016/j.jcrs.2006.01.049.

(收稿日期: 2019-10-17 修回日期: 2019-12-23)

(本文编辑: 刘艳)

读者 · 作者 · 编者

本刊对来稿中组织病理学彩色图片及电子显微镜图片中标尺的要求

如果作者稿件中包含有组织病理图、免疫荧光染色图、免疫组织化学图、电子显微镜图片, 为了反映组织标本大小的最精确尺度, 请在电子版图片的左下方附注标尺。

眼科常用英文缩略语名词解释

AMD: 年龄相关性黄斑变性 (age-related macular degeneration)

ANOVA: 单因素方差分析 (one-way analysis of variance)

BUT: 泪膜破裂时间 (breakup time of tear film)

DR: 糖尿病视网膜病变 (diabetic retinopathy)

EAU: 实验性自身免疫性葡萄膜炎 (experimental autoimmune uveitis)

EGF: 表皮生长因子 (epidermal growth factor)

ELISA: 酶联免疫吸附测定 (enzyme-linked immuno sorbent assay)

ERG: 视网膜电图 (electroretinogram)

FFA: 荧光素眼底血管造影 (fundus fluorescein angiography)

FGF: 成纤维细胞生长因子 (fibroblast growth factor)

GFP: 绿色荧光蛋白 (green fluorescent protein)

IFN- γ : γ 干扰素 (interferon- γ)

IL: 白细胞介素 (interleukin)

IOL: 人工晶状体 (intraocular lens)

IRBP: 光间受体视黄类物质结合蛋白 (interphotoreceptor retinoid binding protein)

LASIK: 准分子激光角膜原位磨镶术 (laser in situ keratomi leusis)

ICGA: 吲哚青绿血管造影 (indocyanine green angiography)

LECs: 晶状体上皮细胞 (lens epithelial cells)

miRNA: 微小 RNA (microRNA)

MMP: 基质金属蛋白酶 (matrix metalloproteinase)

mTOR: 哺乳动物类雷帕霉素靶蛋白 (mammalian target of rapamycin)

MTT: 四甲基偶氮唑盐 (methyl thiazolyl tetrazolium)

NF: 核转录因子 (nuclear factor)

OCT: 光相干断层扫描 (optical coherence tomography)

OR: 优势比 (odds ratio)

PACG: 原发性闭角型青光眼 (primary angle-closure glaucoma)

PCR: 聚合酶链式反应 (polymerase chain reaction)

RGCs: 视网膜节细胞 (retinal ganglion cells)

POAG: 原发性开角型青光眼 (primary open angle glaucoma)

RB: 视网膜母细胞瘤 (retinoblastoma)

RPE: 视网膜色素上皮 (retinal pigment epithelium)

RNV: 视网膜新生血管 (retinal neovascularization)

RP: 视网膜色素变性 (retinitis pigmentosa)

S I t: 基础泪液分泌试验 (Schirmer I test)

shRNA: 小发夹 RNA (short hairpin RNA)

siRNA: 小干扰 RNA (small interfering RNA)

α -SMA: α -平滑肌肌动蛋白 (α -smooth muscle actin)

TAO: 甲状腺相关眼病 (thyroid-associated ophthalmopathy)

TGF: 转化生长因子 (transforming growth factor)

TNF: 肿瘤坏死因子 (tumor necrosis factor)

UBM: 超声生物显微镜 (ultrasound biomicroscope)

VEGF: 血管内皮生长因子 (vascular endothelial growth factor)

VEP: 视觉诱发电位 (visual evoked potential)

(本刊编辑部)