

引文格式:刘桂华,谷天瀑,李颖,厉娜,林伟平,贺美男,等.角膜塑形镜配戴后瞳孔与光学区的大小对视觉质量的影响[J].眼科新进展,2017,37(1):38-41. doi:10.13389/j.cnki.rao.2017.0010

【应用研究】

角膜塑形镜配戴后瞳孔与光学区的大小对视觉质量的影响[△]

刘桂华 谷天瀑 李颖 厉娜 林伟平 贺美男 李静 魏瑞华

作者简介:刘桂华,男,1992年3月出生,天津市人,硕士研究生。主要从事角膜塑形镜、视觉质量方面的研究。联系电话:15822165158; E-mail: liuguihua1992@163.com; ORCID: 0000-0002-9669-3774

About LIU Gui-Hua: Male, born in March, 1992. Master degree. Tel: 15822165158; E-mail: liuguihua1992@163.com; ORCID: 0000-0002-9669-3774

收稿日期:2016-10-16

修回日期:2016-12-01

本文编辑:付中静

△基金项目:天津科委自然科学基金资助(编号:11JCYBJC26000)

作者单位:300384 天津市,天津医科大学眼科医院

通讯作者:魏瑞华, E-mail: weirhua2009@126.com; ORCID: 0000-0003-3343-6460

Received date: Oct 16, 2016

Accepted date: Dec 1, 2016

Foundation item: Science Committee Nature Science Foundation of Tianjin (No: 11JCYBJC26000)

From the Eye Hospital of Tianjin Medical University, Tianjin 300384, China

Responsible author: WEI Rui-Hua, E-mail: weirhua2009@126.com; ORCID: 0000-0003-3343-6460

Effects of pupil size and treatment zone diameter on optical quality after myopic orthokeratology treatment

LIU Gui-Hua, GU Tian-Pu, LI Ying, LI Na, LIN Wei-Ping, HE Mei-Nan, LI Jing, WEI Rui-Hua

【Key words】 orthokeratology; visual quality; pupil size; treatment zone

【Abstract】 **Objective** To analyze the changes in contrast sensitivity and modulation transfer function cutoff values (MTF cutoff) after orthokeratology (ortho-k) treatment and its correlation with the magnitude of pupil and the diameter of the treatment zone. **Methods** A prospective study was conducted in 40 eyes of 40 patients wearing orthokeratology contact lens. Mesopic area under log contrast sensitivity function (AULCSF) with and without glare and MTF cutoff were measured and compared before and 6 months after ortho-k lens treatment. The magnitude of pupil and diameter of the treatment zone (TxZ) were tested against the change in AULCSF and MTF cutoff after ortho-k treatment in Pearson correlation test. **Results** After 6 months of ortho-k treatments, the mean spherical refractive error significantly decreased ($P < 0.001$), but refractive astigmatism did not significantly change ($P = 0.879$). The mesopic AULCSF with and without glare and MTF cutoff significantly decreased after ortho-k lens wear (all $P < 0.001$). The mean pupil size was (6.50 ± 0.34) mm; The mean TxZ diameter was (4.05 ± 0.24) mm. The mesopic AULCSF with and without glare was significantly correlated with the difference between the magnitude of pupil and the diameter of the TxZ (Dpupil-TxZ) ($P = 0.019, r = 0.368; P = 0.034, r = 0.336$, respectively), but not with the magnitude of pupil ($r = 0.159, P = 0.307; r = -0.223, P = 0.167$, respectively) and the diameter of the TxZ ($P = 0.289, r = 0.174; P = 0.216, r = -0.200$, respectively). The MTF cutoff was significantly correlated with the magnitude of pupil and diameter of the TxZ and Dpupil-TxZ ($P = 0.001, r = 0.509; P = 0.001, r = -0.511$, respectively). **Conclusion** The contrast sensitivity and MTF cutoff decreases after ortho-k treatment, which can be alleviated by a smaller pupil size and a larger TxZ diameter.

【中图分类号】 R778.1

【关键词】 角膜塑形镜;视觉质量;瞳孔;光学区

【摘要】 **目的** 探究角膜塑形镜治疗后暗室对比敏感度与调制传递函数截止频率(modulation transfer function cutoff, MTF cutoff)变化,并分析瞳孔与光学区的大小对暗室下对比敏感度以及 MTF cutoff 的影响。**方法** 选取2015年8月至12月在天津医科大学眼科医院进行角膜塑形镜治疗的近视青少年40人(右眼40眼),戴镜前、戴镜后6个月分别测量角膜地形图、暗室瞳孔大小、光学区大小、暗室及暗室眩光条件下对比敏感度曲线下面积(area under log contrast sensitivity function, AULCSF)及 MTF cutoff,戴镜前后视觉质量参数变化采用配对 t 检验,暗室瞳孔与光学区对视觉质量参数的影响采用 Pearson 相关分析。**结果** 戴镜后6个月等效球镜度数降低($P < 0.001$),柱镜度数无变化($P = 0.879$);暗室对比敏感度及暗室眩光条件下对比敏感度均下降(均为 $P < 0.001$);MTF cutoff 下降($P < 0.001$)。戴镜前后瞳孔直径为(6.50 ± 0.34) mm。戴镜后6个月光学区直径为

[16] DUAN F, CUI S, SONG C, DAI L, ZHAO X, ZHANG X. Systematic evaluation of cancer risk associated with DNMT3B polymorphisms[J]. *J Cancer Res Clin Oncol*, 2015, 141 (7): 1205-1220.

[17] ZHENG Q, ZENG TT, CHEN J, LIU H, ZHANG H, SU J. Association between DNA methyltransferases 3B gene polymorphisms and the susceptibility to acute myeloid leukemia in Chinese Han population[J]. *PLoS One*, 2013, 8 (9): e74626.

[18] ZHANG C, FANG Y, XIE B, CHENG W, DU Y, WANG D, et al. DNA methyltransferase 3B gene increases risk of early onset schizophrenia[J]. *Neurosci Lett*, 2009, 462 (3): 308-311.

[19] MOSTOWSKA A, SAJDAK S, PAWLIK P, LIANERI M, JA-

GODZINSKI PP. DNMT1, DNMT3A and DNMT3B gene variants in relation to ovarian cancer risk in the Polish population[J]. *Mol Biol Rep*, 2013, 40 (8): 4893-4899.

[20] SARADALEKSHMI KR, NEETHA NV, SATHYAN S, NAIR IV, NAIR CM, BANERJEE M. DNA methyl transferase (DNMT) gene polymorphisms could be a primary event in epigenetic susceptibility to schizophrenia[J]. *PLoS One*, 2014, 9 (5): e98182.

[21] PEZZI JC, ENS CM, BORBA EM, SCHUMACHER-SCHUH AF, DE ANDRADE FM, CHAVES ML, et al. DNA methyltransferase haplotype is associated with Alzheimer's disease[J]. *Neurosci Lett*, 2014, 579 (5): 70-74.

(4.05 ± 0.24) mm。暗室条件下 AULCSF 变化与暗室瞳孔直径及光学区直径均不相关($r = 0.159, P = 0.307; r = -0.223, P = 0.167$)。暗室眩光条件下 AULCSF 变化与暗室瞳孔直径及光学区直径均不相关($r = 0.174, P = 0.289; r = -0.200, P = 0.216$)。MTF cutoff 变化与暗室瞳孔直径及光学区直径相关($r = 0.509, P = 0.001; r = -0.511, P = 0.001$)。暗室、暗室眩光条件下 AULCSF 及 MTF cutoff 变化均与瞳孔直径和光学区直径之差相关(均为 $P < 0.05$)。结论 角膜塑形镜配戴后暗室对比敏感度及 MTF cutoff 均降低,且较小的暗室瞳孔与较大的光学区可获得更好的视觉质量。

角膜塑形镜,又称 OK 镜,是一种逆几何设计的硬性高透氧材质的角膜接触镜,通过夜间配戴重新塑造角膜前表面的形态来改变角膜屈光度,从而使白天获得正常的裸眼视力^[1-2],且具有延缓近视发展的作用^[3-4]。尽管角膜塑形镜能提高白天的裸眼视力,但由于角膜表面不规则性增加也不可避免地造成视觉质量的降低,如高阶像差增大、对比敏感度降低以及视网膜成像质量下降等^[5-7]。临床中,会有患者抱怨出现暗室环境下视力下降、眩光或光晕现象,较为严重者会影响患者的正常生活。所以,对于影响角膜塑形视觉质量的相关因素分析显得十分重要。本研究通过分析暗室下瞳孔大小及光学区大小对患者暗室下对比敏感度及视网膜成像质量的变化影响,寻找影响角膜塑形镜视觉质量的相关因素,为患者获得更好的视觉质量提供依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料 选取2015年8月至12月在天津医科大学眼科医院进行角膜塑形镜治疗近视的患者40例(右眼40眼),其中男18例,女22例。纳入标准:年龄8~13(11.38 ± 1.56)岁;等效球镜度数 $-5.00 \sim -0.75$ (-3.04 ± 1.24)D;散光度数 < -1.50 D(均为顺规散光);最佳矫正视力 ≥ 1.0 。排除标准:除屈光不正外,仍有其他疾病及眼部外伤、手术史;患者有角膜接触镜验配禁忌,有角膜接触镜配戴史。本研究遵循赫尔辛基宣言,所有受试患者及其监护人均知情同意。

1.2 镜片选择及配适 采用 Euclid 夜戴型角膜塑形镜,镜片材料为 Boston XO,透氧系数(DK 值)为 100×10^{-11} 。镜片采用逆几何4弧设计,镜片总直径10.6 mm,光学区直径6.0 mm。根据 Medmont E300 角膜地形图(Medmont international Pty Ltd,澳大利亚)平坦K值及离心率(e)值选择第一片试戴片。戴镜1h后在裂隙灯显微镜钴蓝光下进行荧光素染色,观察镜片配适状态并及时调整镜片。最终配适要求:镜片光学区覆盖瞳孔区,无明显中心偏位,眨眼活动度在1 mm左右,荧光素染色显示为典型的牛眼样图案,即中央光学区呈黑色状态,反转弧区呈环形规则绿色亮环,定位弧区呈淡绿色或淡黑色,周边弧区呈0.2 mm~0.5 mm的绿色亮环。

1.3 检查方法 所有患者配镜前后均由同一医师进行相关检查。戴镜前及戴镜后6个月分别进行裸眼视力、综合验光仪、裂隙灯显微镜、Medmont E300 角膜地形图、对比敏感度仪 CSV-1000E(VectorVision,美国)、角膜/屈光分析仪 OPD-Scan III(Nidek,

日本)及双通道视觉质量分析系统 OQAS-II(Visio-metrics,西班牙)检查。患者被要求统一在上午9点至11点间接受检查,即摘镜后2~4 h后。

1.3.1 光学区直径 角膜地形图检查采用 Medmont E300 角膜地形图仪,图像质量分数 > 95 分被保存,重复检测3次,重复性较好的图像被选取用于统计分析。戴镜前后的差异图被收集用于计算光学区大小,具体方法为:在光学区外围一周选取12个曲率变化为0.0 D的点,使用 Matlab 商业数学软件(MathWorks,美国)根据所选点坐标计算出最佳拟合光学区,并求出光学区直径。

1.3.2 瞳孔直径 暗室瞳孔直径使用 OPD-Scan III 在暗室环境下进行测量。患者被要求处在暗室条件下10 min后进行检查,重复测量3次取平均值。戴镜前后暗室瞳孔的平均值用于统计分析。

1.3.3 对比敏感度 使用 CSV-1000E 测量患者暗室及暗室伴眩光条件下的对比敏感度。检查在暗室环境内进行,患者被要求在暗室条件下10 min后进行检查并要求框架眼镜全矫,测量距离为2.5 m,单眼测量。该检查分别测量4个空间频率($3 \text{ c} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $6 \text{ c} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $12 \text{ c} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $18 \text{ c} \cdot \text{d}^{-1}$)下的对比敏感度。使用 Matlab 计算对比敏感度曲线下面积(area under log contrast sensitivity function, AULCSF)用于统计分析。

1.3.4 调制传递函数截止频率 使用 OQAS-II 测量调制传递函数截止频率(modulation transfer function cutoff, MTF cutoff),患者被要求处在暗室条件下10 min后进行检查,全矫单眼分别测量。OQAS-II 内置补偿球镜度数为 $-8.00 \sim +5.00$ D;患者柱镜度数 ≤ 0.50 D时无需补偿镜片,若 > 0.50 D则需要额外补偿镜片。视觉质量检测时瞳孔大小设定为7 mm,重复检测3次,取其平均值。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 22.0 统计学软件对戴镜前后数据进行统计分析,所有数据均以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用配对 t 检验分析戴镜前后视觉质量参数变化;采用 Pearson 相关分析对视觉质量参数变化与瞳孔及光学区大小的相关性进行分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计意义。

2 结果

2.1 裸眼视力与屈光度 角膜塑形镜配戴后6个月裸眼视力均 ≥ 1.0 ;戴镜前后等效球镜度数分别为(-3.04 ± 1.24)D、(-0.18 ± 0.27)D,戴镜后等效球镜度数显著降低($P < 0.001$);戴镜前后柱镜度数分别为(-0.54 ± 0.42)D、(-0.53 ± 0.39)D,戴镜

后柱镜度数无显著变化($P=0.879$,表1)。

2.2 瞳孔与光学区直径 所有患者戴镜后6个月角膜地形图显示均无明显偏中心现象。戴镜后6个月光学区直径为 $3.61\sim4.61(4.05\pm0.24)$ mm;戴镜前后瞳孔直径分别为 (6.52 ± 0.35) mm、 (6.48 ± 0.39) mm,差异无统计学意义($P=0.475$),戴镜前后瞳孔直径平均为 $5.71\sim6.97(6.50\pm0.34)$ mm。

2.3 对比敏感度 戴镜前与戴镜后6个月暗室下AULCSF分别为 1.268 ± 0.087 、 1.168 ± 0.097 ,戴镜前后暗室眩光状态下AULCSF分别为 1.239 ± 0.087 、 1.156 ± 0.099 ,戴镜后暗室及暗室眩光状态下对比敏感度均下降,差异均有统计学意义(均为 $P<0.001$,表1)。且暗室及暗室眩光两种状态下AULCSF变化均与暗室瞳孔直径不相关($r=0.159$, $P=0.307$; $r=0.174$, $P=0.289$),与光学区直径亦不相关($r=-0.223$, $P=0.167$; $r=-0.200$, $P=0.216$),但暗室及暗室眩光两种状态下AULCSF与瞳孔直径和光学区直径之差相关($r=0.368$, $P=0.019$; $r=0.336$, $P=0.034$;图1)。

2.4 MTF cutoff 戴镜前与戴镜后6个月MTF cutoff分别为 $(46.29\pm5.74)\text{c}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $(39.37\pm5.37)\text{c}\cdot\text{d}^{-1}$,戴镜后MTF cutoff下降,差异有统计学意义

($P<0.001$,表1)。且戴镜前后MTF cutoff变化与暗室瞳孔直径相关($r=0.509$, $P=0.001$),与光学区直径相关($r=-0.511$, $P=0.001$),与瞳孔直径和光学区直径之差亦相关($r=0.620$, $P<0.001$;图2)。

图1 戴镜前与戴镜后6个月对比敏感度变化与瞳孔和光学区直径之差的关系。A:暗室下AULCSF变化与瞳孔和光学区直径之差相关;B:暗室眩光下AULCSF变化与瞳孔和光学区直径之差相关

表1 角膜塑形镜配戴前与配戴后6个月数据			
(x±s)			
参数	戴镜前	戴镜后6个月	P值
球镜度数(φ/D)	-3.04±1.24	-0.18±0.27	<0.001
散光度数(φ/D)	-0.54±0.42	-0.53±0.39	0.879
AULCSF(暗室)	1.268±0.087	1.168±0.097	<0.001
AULCSF(暗室眩光)	1.239±0.087	1.156±0.099	<0.001
MTF cutoff/c·d ⁻¹	46.29±5.74	39.37±5.37	<0.001

图2 戴镜前与戴镜后6个月MTF cutoff变化与瞳孔直径、光学区直径及瞳孔和光学区直径之差的关系。A:MTF cutoff变化与瞳孔直径相关;B:MTF cutoff变化与光学区直径相关;C:MTF cutoff变化与瞳孔和光学区直径之差相关

3 讨论

随着角膜塑形镜在临床中的广泛应用,患者配戴后的视觉质量变化越来越受到人们的关注。本研究中,以对比敏感度功能及MTF cutoff值分别作为主观和客观的视觉质量评估参数来研究角膜塑形镜对视觉质量的影响。

对比敏感度是一项广泛应用于多个领域评估视觉质量的指标^[8-10],它能反映不同空间频率和不同对比度下人眼的分辨能力(视力只是对比敏感度函数上一点),更符合人眼的实际环境,因此更能全面反映受试者的视功能情况。本研究中,我们将各空间频率下对比敏感度转化为一个参数,即ALUCSF^[11],更能直观显示出对比敏感度整体变化情况。本研究表明,暗室及暗室眩光条件下对比敏感度均降低。之前关于角膜塑形镜对对比敏感度影

响的研究中有不同的结论。HIRAOKA等^[7]发现,角膜塑形镜配戴3个月后暗室及暗室眩光下对比敏感度降低,而STILLITANO等^[12]发现,角膜塑形镜配戴1a后对比敏感度变化差异无统计学意义,产生不同结论的原因可能是由于观察的时间点不同,对比敏感度会随戴镜时间的变化而变化。本研究中,戴镜后6个月对比敏感度仍较戴镜前降低,故我们推测,患者戴镜6个月内对比敏感度降低,而随着戴镜时间增长至1a左右,对比敏感度逐渐回升至戴镜前水平。

本研究使用双通道视觉质量分析系统OQAS-II测量MTF cutoff。OQAS-II利用双通道视网膜成像技术,分析点光源在视网膜上的成像,得到点扩散函数,再经过傅里叶转换得到MTF。传统的波前像差检查忽略了散射和衍射对视觉质量的影响^[13],故OQAS-II更能反映真实的视觉质量情况,且已证实对儿童视觉质量参数的测量具有良好的重复性和再

现性^[14]。MTF是指在不同空间频率下的正弦条纹经过光学系统后与经过光学系统前的调制度之比,在人眼中,反映视网膜成像与实际像之间对比度丢失的情况,通常以MTF cutoff作为检测指标。MTF cutoff指MTF为0时,人眼分辨的最大空间频率。为避免仪器内置摄像机产生的高频噪声的干扰,OQAS-II采用MTF为0.01时人眼分辨的最大空间频率为MTF cutoff^[15]。理想条件下,人眼分辨的最大空间频率为60 c·d⁻¹^[15]。MTF cutoff值越高,表示视觉质量越好。本研究发现,角膜塑形镜配戴后MTF cutoff降低,与之前杜显丽等^[6]的研究相似,他们发现角膜塑形镜治疗后MTF cutoff下降及客观散射指数升高,且随治疗时间延长越来越明显,并在戴镜1个月后趋于稳定。

本研究选择暗室瞳孔直径为7 mm以下的配戴者(OQAS-II瞳孔测量范围最大为7 mm),以去除瞳孔过大,数据采集不全对试验结果的干扰。所有暗室检查患者均被要求在暗室环境下适应10 min后再进行测量,以保证数据的可靠性。由于角膜塑形镜配戴后光学区不全为规则图形,为减少人为选取造成的误差,光学区的评估使用Matlab商用数学软件,可根据所取数据点获得最佳拟合光学区。本研究发现,戴镜前后暗室及暗室眩光下对比敏感度变化与暗室瞳孔直径和光学区直径均不相关,结论与HIRAOKA等^[7]的研究相似,但与暗室瞳孔直径和光学区直径之差相关。而戴镜前后MTF cutoff变化与暗室瞳孔直径、光学区直径以及暗室瞳孔直径和光学区直径之差均相关。可能是因为MTF cutoff为人眼分辨的空间频率阈值,且为客观参数;而AULCSF反映的是整体对比敏感度变化,且对比敏感度为主观检查,受主观影响较大。相对而言,客观的MTF cutoff对细微的视觉质量变化反应较为敏感且真实可靠。在屈光手术中,较大的切削区直径往往伴随着更好的视觉质量^[16-18],在角膜塑形镜中,该结论在本研究中也得到证实。另外,以往报道显示,由于角膜塑形镜配戴后改变角膜前表面曲率,角膜不规则性增加,也不可避免地造成高阶像差增加,如球差和彗差^[12,19]。瞳孔大小对视觉质量有重要的影响作用,FARIA-RIBEIRO等^[20]发现,角膜塑形镜治疗后,瞳孔越大,像差增大越明显,且在低对比度情况下更显著;而在屈光手术中,YANG等^[21]发现,较大的瞳孔直径表现出更差的视觉质量。本研究的不足之处在于只对比了戴镜前与戴镜后6个月的视觉质量参数,后期的研究还需关注长期的视觉质量变化情况。

本研究发现,角膜塑形镜配戴后视觉质量下降,暗室瞳孔大小与光学区大小影响配戴后的视觉质量,且较小的瞳孔直径及较大的光学区直径会获得更好的视觉质量。

参考文献

[1] SWARBRICK HA, WONG G, O' LEARY DJ. Corneal response

- to orthokeratology [J]. *Optom Vis Sci*, 1998, 75 (11): 791-799.
- [2] NICHOLS JJ, MARSICH MM, NGUYEN M, BARR JT, BULLI-MORE MA. Overnight orthokeratology [J]. *Optom Vis Sci*, 2000, 77(5): 252-259.
- [3] SUN Y, XU F, ZHANG T, LIU M, WANG D, CHEN Y, et al. Orthokeratology to control myopia progression: a meta-analysis [J]. *PLoS One*, 2015, 10(4): e0124535.
- [4] HUANG J, WEN D, WANG Q, MCALINDEN C, FLITCROFT I, CHEN H, et al. Efficacy comparison of 16 interventions for myopia control in children: a network meta-analysis [J]. *Ophthalmology*, 2016, 123(4): 697-708.
- [5] GIFFORD P, LI M, LU H, MIU J, PANJAYA M, SWARBRICK HA. Corneal versus ocular aberrations after overnight orthokeratology [J]. *Optom Vis Sci*, 2013, 90(5): 439-447.
- [6] 杜显丽, 韩燕敏, 陈敏. 角膜塑形镜塑形后眼客观视觉质量变化 [J]. 中华眼科杂志, 2015, 51(1): 32-38.
- [7] DU XL, HAN YM, CHEN M. Objective optical quality after orthokeratology [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2015, 51(1): 32-38.
- [8] HIRAOKA T, OKAMOTO C, ISHII Y, TAKAHIRA T, KAKITA T, OSHIKA T. Mesopic contrast sensitivity and ocular higher-order aberrations after overnight orthokeratology [J]. *Am J Ophthalmol*, 2008, 145(4): 645-655.
- [9] VASAVADA VA, PRAVEEN MR, VASAVADA AR, SHAH SK, TRIVEDI RH. Contrast sensitivity assessment in pediatric cataract surgery: comparison of preoperative and early postoperative outcomes [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2014, 40(11): 1862-1867.
- [10] SHAHEEN MS, MASSOUD TH, EZZELDIN H, KHALIFA MA. Four-year visual, refractive, and contrast sensitivity outcomes after wavefront-guided myopic LASIK using an advanced excimer laser platform [J]. *J Refract Surg*, 2013, 29(12): 816-822.
- [11] HIRAOKA T, OKAMOTO C, ISHII Y, KAKITA T, OKAMOTO F, OSHIKA T. Time course of changes in ocular higher-order aberrations and contrast sensitivity after overnight orthokeratology [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008, 49(10): 4314-4320.
- [12] APPLEGATE RA, HOWLAND HC, SHARP RP, COTTINGHAM AJ, YEE RW. Corneal aberrations and visual performance after radial keratotomy [J]. *J Refract Surg*, 1998, 14(4): 397-407.
- [13] STILLITANO I, SCHOR P, LIPENER C, HOFLING-LIMA AL. Long-term follow-up of orthokeratology corneal reshaping using wavefront aberrometry and contrast sensitivity [J]. *Eye Contact Lens*, 2008, 34(3): 140-145.
- [14] ONDATEGUI JC, VILASECA M, ARJONA M, MONTASELL A, CARDONA G, GUELL JL, et al. Optical quality after myopic photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis: comparison using a double-pass system [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2012, 38(1): 16-27.
- [15] TIAN M, MIAO H, SHEN Y, GAO J, MO X, ZHOU X. Intra- and intersession repeatability of an optical quality and intraocular scattering measurement system in children [J]. *PLoS One*, 2015, 10(11): e0142189.
- [16] SAAD A, SAAB M, GATINEL D. Repeatability of measurements with a double-pass system [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2010, 36(1): 28-33.
- [17] BRENNER LF. Corneal higher-order aberrations and higher-order Strehl ratio after aberration-free ablation profile to treat compound myopic astigmatism [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2015, 41(12): 2672-2682.
- [18] ALARCON A, RUBINO M, PEEEREZ-OCÓN F, JIMENEZ JR. Theoretical analysis of the effect of pupil size, initial myopic level, and optical zone on quality of vision after corneal refractive surgery [J]. *J Refract Surg*, 2012, 28(12): 901-906.
- [19] VEGA-ESTRADA A, ALJO JL, ARBA MOSQUERA S, MORENO LJ. Corneal higher order aberrations after LASIK for high myopia with a fast repetition rate excimer laser, optimized ablation profile, and femtosecond laser-assisted flap [J]. *J Refract Surg*, 2012, 28(10): 689-696.
- [20] HIRAOKA T, OKAMOTO C, ISHII Y, KAKITA T, OSHIKA T. Contrast sensitivity function and ocular higher-order aberrations following overnight orthokeratology [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2007, 48(2): 550-556.
- [21] FARIA-RIBEIRO M, NAVARRO R, GONZÁLEZ-MÉLJOME J M. Effect of pupil size on wavefront refraction during orthokeratology [J]. *Optom Vis Sci*, 2016, 93(11): 1399-1408.
- [22] YANG X, WANG Y, ZHAO K, FANG L. Comparison of higher-order aberration and optical quality after Epi-LASIK and LASIK for myopia [J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2011, 249(2): 281-288.