

有效控制角膜屈光手术后光学并发症以不断提高手术后视觉质量

王雁 郝维婷

300020 天津医科大学眼科临床学院 天津市眼科医院 天津市眼科研究所 天津市眼科学与视觉科学重点实验室

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

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2017.06.001

【摘要】 近年来随着科学技术的不断发展,角膜屈光手术已成为矫治屈光不正的主流方式之一,大量的临床试验已证实角膜屈光手术可使患眼视力明显改善,屈光度明显下降,是安全和有效的。但部分患者在矫正屈光不正的同时也可能出现一些光学并发症,从而影响术后视觉质量,尤其是夜间视觉质量,主要包括眩光、光晕和对比敏感度下降,其影响因素有年龄、瞳孔大小、高阶像差、散射、预矫正屈光度、角膜愈合过程、个体敏感度等。眼科临床医生和研究者只有充分了解上述因素并探索相应的发生机制和治疗措施才能做到手术中尽量避免并有的放矢地予以必要的治疗,从而在保证角膜屈光手术的安全性和有效性的前提下,不断提高视觉质量。临床医师还应意识到这些影响是多因素综合作用的结果,且与个体敏感性有直接关系,完善术前评价、科学合理的手术设计、严格手术操作规范、术后合理用药和必要的矫正手段可提高角膜屈光手术后的视觉质量,特别是夜间视觉质量。

【关键词】 角膜/手术; 准分子激光/治疗应用; 屈光不正/手术; 术后并发症; 影响因素; 眩光; 视觉质量; 夜间视觉质量

Controlling optical complications after corneal refractory surgery and improving visual quality Wang Yan, Hao Weiting

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

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

【Abstract】 In recent years, corneal refractive surgery continues to develop with becoming to be one of the most prevalent utilizations of correction of many patients and brings about better visual quality for ametropic patients. Meanwhile, some patients are subjected to optical complications, and poor night vision is one of the most serious problems which are complained by sufferers after refractive surgery, such as glare, halo and reduce of contrast sensitivity, and the affective factors include age, pupil diameter, high order aberration, scattering, pre-estimated diopter, corneal healing, individual sensitivity to surgery, which are supposed to attract the attention of the majority of clinicians and researchers, at the same time. Ophthalmic clinical doctors and researchers only fully understand the mechanism of the above factors and explore the corresponding measures in order to purposefully treat these complications. In addition, ophthalmologists should be aware of the interaction of these factors and their relationship with individual sensitivity and explore the impact of postoperative visual impairment and the way to avoid them in clinical practice in order to improve the visual quality by controlling the postoperative optical complications.

【Key words】 Cornea/surgery; Lasers, excimer/therapeutic use; Refractive error/surgery; Postoperative complications; Risk factors; Glare; Visual quality; Night vision quality

近年来,随着科学技术的进步、手术方法的变革以及手术设备的不断革新,角膜屈光手术取得了较大的发展,接受治疗的人群逐渐增多。为了获得理想的视

觉效果,如何在解决了角膜屈光手术的安全性和有效性后提升视觉质量逐渐受到了国内外眼科医生和研究者的关注,尤其是手术后视觉质量的评估及对术后视

觉质量的有效控制等。角膜屈光手术主要是通过准分子激光、飞秒激光等一系列矫治手段而达到矫治离焦、散光的目的,但个别患者可能还会出现一些光学并发症,如屈光度的过矫和欠矫、屈光状态回退、不规则散光、视觉干扰(包括一过性或永久性眩光或光晕,尤其是夜间视力下降)、对比敏感度降低、屈光参差等^[1],从而影响视觉质量。眩光、光晕等导致的夜间视力减弱是部分患者术后满意度不高的原因之一,甚至有报道其发生率为 25%~30%^[2]。因此,对角膜屈光手术后此类光学并发症的掌握和控制成为亟待研究和解决的主要问题。

1 了解和掌握影响角膜屈光手术后夜间视觉质量的机制

1.1 夜间视觉质量、眩光、光晕等基本概念

角膜屈光手术后夜间视觉质量的改变主要包括:(1)眩光、光晕造成的视觉干扰;(2)对比敏感度降低和图像质量改变的成像质量下降。临床上,眩光的产生是由注视目标和背景环境亮度差距过大时产生的视觉感受,如夜间汽车大灯产生的耀眼亮光使人看不清目标,分为不适眩光和失能眩光^[3]。另外,《国际照明工程词汇》(CIE)将眩光定义为一种“由于亮度分布不适当,或亮度变化的幅度太大,或空间、时间上存在着极端的对比,以致引起不舒适或降低观察重要物体的能力,或同时产生这 2 种现象”。光晕则是指光线通过反射进入人眼,形成的环状或弧状光圈。

眩光和光晕的光学本质始终在探讨过程中。角膜屈光手术后眩光、光晕的产生有很多影响因素,如年龄、瞳孔大小、高阶像差、散射、预矫正屈光度、角膜愈合过程、个体敏感度等,需要不断地加深认识,探究其发生和发展的可能机制,才能在临床中有效避免和控制此类光学并发症的发生,提高手术后视觉质量,特别是夜间视觉质量,改善生活质量。

1.2 正确认识瞳孔直径与视觉质量的关系

在明暗不同的环境中,人眼的瞳孔大小随着光照强度的改变而发生变化,在暗光条件下瞳孔扩大,随着瞳孔直径的增大,人眼的高阶像差也会增加,明显影响视网膜分辨率和视觉成像质量^[4]。然而,研究发现屈光手术后早期患者夜间视力障碍、视觉不良症状主诉较多,多在术后 1 个月达峰值而在术后 6 个月后症状主诉明显减少或逐渐消失^[5-6]。瞳孔直径与眩光、光晕等不良视觉现象仅在术后早期有一定相关性,而且对于有视觉症状的患者缩瞳不会使其症状消失。Chan 等^[5]通过研究波前引导准分子激光角膜原位磨

镶术(laser assisted in situ keratectomy, LASIK)术后瞳孔大小对视觉质量的影响发现,术后 1 个月内眩光症状不断加重,而 1 个月后症状逐渐减轻。术后 12 个月时,大、中、小瞳孔夜间眩光均低于基线变化量,但中等大小瞳孔(瞳孔直径 5.6~6.4 mm)者夜间发生眩光、光晕的比例低于瞳孔偏大(瞳孔直径 ≥ 6.5 mm)或偏小的(瞳孔直径 ≤ 5.5 mm)人群。

但需要了解的是,也有少数研究认为角膜屈光手术后夜间视觉不良的主要影响因素为年龄、预矫正屈光度、光学区、术后残余度数等,瞳孔大小并不是主要的危险因素^[5-8]。临床大样本流行病学调查研究显示,正常人随着年龄的增加,暗光条件下瞳孔扩大的程度有逐渐减小的趋势^[9],因此瞳孔可以作为预判和衡量术后夜间视觉质量的一个因素,虽然单纯考虑其大小不能准确衡量夜间视觉质量,但不能完全否定其意义。有研究显示,对于术后角膜地形图呈现基本均一、暗光条件下瞳孔直径 ≤ 7 mm 者,其瞳孔直径与眩光、光晕、最佳矫正视力、对比敏感度无明显相关性^[7]。因此,为了有效避免角膜屈光手术眼夜间视力障碍,临床医生还需结合患者年龄、光学区大小、预矫正屈光度等参数综合考量,在手术设计时综合各种因素,结合角膜组织厚度等设计最适合的光学区直径和切削方案,并告知患者可能的预后,既不要忽视瞳孔在视觉质量中的作用,也不能将其作为唯一影响因素,应综合考虑,确定最佳手术方案。

1.3 掌握术前、术中、术后高阶像差的产生原因以有效控制

高阶像差是影响视觉质量的主要因素之一,特别是在手术后。角膜屈光手术后高阶像差的主要来源有:(1)术前即已存在的高阶像差;(2)手术过程中引入的高阶像差,如激光切削模式、手术设计等;(3)术后角膜愈合反应引入的高阶像差;(4)角膜术后生物力学改变等因素引起的高阶像差。手术过程中引入的高阶像差产生的因素主要包括眼球的位置和运动、激光源性高阶像差、手术操作引入的高阶像差(角膜瓣的制作、偏心切削、不规则切削、瞳孔直径与光学区大小的匹配情况等)^[10]以及患者的过度紧张或眼球的突然转动等。

通过矫正正常人眼 6 阶以下的单色像差,发现其对比敏感度明显提高,眩光、光晕等视觉干扰显著降低,视觉质量得到改善^[11];此外,波前引导 LASIK 术后视觉质量(对比敏感度、眩光、主观感觉)优于 LASIK 术后^[12]。因此,必须意识到波前像差是影响角膜屈光手术后夜间视觉质量的重要因素,不同的手术方式引

入高阶像差的成分不尽相同,即使波前引导的屈光手术也不能完全消除高阶像差。

不同的手术方式对视觉质量的影响也不同,应有所选择。要了解准分子激光角膜屈光手术的方法和机制,比较不同制瓣方式对视觉质量的影响^[13-15],角膜机械刀和飞秒激光均可造成术后高阶像差的增加,但角膜机械刀制瓣引起的高阶像差更为显著。飞秒激光制瓣更为平滑和均一,各项参数均可预设,引起上皮植入的风险小,愈合反应轻。而准分子激光上皮下角膜磨镶术(laser assisted subepithelial keratomileusis, LASEK)由于受到更多的上皮重塑和愈合反应,早期高阶像差,特别是球差增加明显,但手术3个月后这种差异逐渐消失。关于飞秒激光手术术后高阶像差的比较,全飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE)术后球差显著低于飞秒激光辅助的LASIK(femtosecond LASIK, FS-LASIK)术后^[16],以往认为其彗差的增大是偏中心切削造成的,但最新研究发现SMILE比FS-LASIK的偏中心切削少,彗差的增加可能与单侧切口有关,角膜愈合反应的不平衡可能导致角膜光学特性的变化^[17-18],且随着时间的推移,彗差等高阶像差还会明显减少^[19-21]。

1.4 控制散射光对视觉质量的影响

与像差有所不同,散射是由于屈光介质的轻度不规则而引起的光线传播的异常,可降低对比敏感度,引起幕罩样眩光,进而影响视觉质量。正常情况下,角膜并不是前向散射的重要来源,但屈光手术改变了人眼屈光状态,不仅改变了低阶像差而提高了视力,而且改变了角膜厚度、表面形态和组织结构,由此可能会引入散射的变化^[22]。研究发现,LASIK术后早期散射增大,约6个月恢复到术前水平。对SMILE和FS-LASIK术后散光值的变化进行观察发现,SMILE术后眼内散光值虽然存在变化,但并不明显;FS-LASIK术后眼内散光值增加,尤以早期最为显著。2种术式术后散光值均随时间的延长而逐渐恢复^[23]。角膜屈光手术后散光值的变化可能与术中参数的设置有关,如切削深度、切削比、能量等^[24]。因此,角膜屈光术前对散射光的评估以及对术中各项参数的合理设置都有其不可忽视的意义。

1.5 控制对屈光度的矫治范围以最大限度地减少预矫正屈光度可能造成的影响

角膜屈光手术通过切削角膜基质来改变角膜屈光力,从而达到矫治屈光不正的目的,预矫正屈光度越大,切削的角膜基质越多。临床研究表明,准分子激光手

术中预矫正屈光度与术后眩光、光晕症状均存在显著相关性^[6-7],可能的原因是预矫正屈光度越高,角膜的切削量越多,球差就越大。在高度近视人群中,术后夜间视觉质量不佳者比例更大,因此在行角膜屈光手术前,预矫正屈光度也是应当仔细考量的因素,不要将高度近视眼角膜光学区缩得很小,对于超高度近视者可以考虑选择眼内晶状体植入等方式。

1.6 提高各类手术的精准性并重视Nomogram的调整

即使采用相同的治疗方案,由于不同手术方式、不同设备、不同个体的影响,最终矫治屈光度的效果也会不同。因此,每台设备、每种治疗方式(如表层手术、板层手术等)均有自己的Nomogram。但即便如此,手术后仍可能出现欠矫或过矫,高度近视者也可能出现屈光度的回退,此时可根据患者的耐受程度和敏感程度适当进行屈光度的再次矫正,即可较好地改善视觉不良现象。特别值得提出的是,临床上往往过于重视高阶像差的影响和矫正,反而忽略低阶像差的影响和矫正,弃本逐末,舍近求远。事实上,低阶像差对视觉质量的影响有时远远大于高阶像差,且在矫正时更容易,也更有效。

1.7 了解和掌握影响视觉质量的其他因素

角膜屈光手术后眩光、光晕还与许多其他因素有关,不同的切削方式、不同的切口位置、角膜瓣的厚度等均均为影响因素。此外,角膜愈合反应过程也会影响屈光手术后的夜间视觉质量;眩光、光晕现象对不同年龄人群视觉质量的影响程度不同,年轻人(≤ 35 岁)比老年人(≥ 50 岁)对眩光的敏感性更高,更易发生视疲劳^[25],在暗环境、低对比度条件下视觉质量最差,产生的光晕更大,而光晕大小与亮环境、高/低对比度条件和暗环境、高对比度条件无关^[26];此外,患者的主观心理因素和个体敏感性也应纳入可考虑的影响因素,有时甚至是主要因素之一。

2 角膜屈光手术后夜间视觉质量的控制

2.1 完善术前评价

控制夜间视觉质量时首先应当严格掌握角膜屈光手术的适应证和禁忌证。(1)合理的预矫正屈光度 对于拟行手术的患者应综合主客观验光结果,结合最佳矫正视力,确定合理的预矫正屈光度。(2)术前检查 常规术前检查包括裸眼视力、近视力、外眼及眼前节检查、后极部及周边部眼底检查、眼压测量、角膜厚度测量和角膜地形图检查,特别是瞳孔直径(包括暗光下瞳孔直径)的测量,暗光下瞳孔直径 ≥ 7 mm者应适当扩大光学区直径,尽量避免瞳孔直径对术后视觉质量

的影响。如有条件应行波前像差测定、对比敏感度及眩光检查、眼轴检查、泪液功能评估、眼调节幅度测定、角膜生物力学测定、眼前节 OCT 及眼底检查等。(3) 手术方式的选择 对于低度近视可考虑行表层角膜屈光手术,如 LASEK。近年来表层角膜屈光手术越来越多地受到关注。研究发现,虽然表层角膜屈光手术后恢复过程较慢,但随着时间的延长,其视觉质量优于部分板层屈光手术;FS-LASIK 与 SMILE 可矫治的屈光不正范围都比较广,在术式的选择上需要综合考量。FS-LASIK 可设定的光学区较 SMILE 大,且在矫治度数相同的条件下,SMILE 需要切除角膜基质组织的量多于 FS-LASIK,因此对于角膜薄、高度近视、暗光下瞳孔直径较大的患者可选择 FS-LASIK。但 SMILE 也具有不可忽视的优势,如其小切口无瓣的操作引起的角膜表面愈合反应轻,且降低了术后外伤引起的瓣掀起、上皮植入等风险;此外,SMILE 术后的生物力学特性优于 FS-LASIK,引入的术源性高阶像差也更少。(4) 术前准备 术前至少 1 周内不建议配戴软性角膜接触镜,硬性角膜接触镜应停止配戴 3 周以上,角膜塑形镜应停止配戴 3 个月以上,避免眼部的化妆涂染或粘贴睫毛。术前 1~3 d 使用抗生素滴眼液并选择性地使用非甾体类抗炎药物滴眼液。严格无菌操作,避免发生感染。(5) 患者术前知情同意情况 术前需向患者阐明手术目的、手术局限性、替代的方法与种类、手术过程中的配合方法、可能出现的并发症等,以取得患者的理解和配合,特别是应向患者解释术后可能出现视觉功能的改变,如夜间视觉质量的变化及其影响因素,且由于个体差异性,医师不能完全预测术后可能出现的视觉功能改变等,使患者对手术疗效的期待更为合理^[27]。

2.2 严格手术操作规范

在完善术前评价的基础上行角膜屈光手术时引入的高阶像差、术中切削的基质深度、角膜瓣相关并发症等仍会影响术后夜间视觉质量,因此严格手术操作规范尤为重要。手术过程中影响术后夜间视觉质量的问题包括:(1) 头位的固定和眼球运动 头位和眼位的轻微倾斜会使激光切削角发生变化,引起散光和高阶像差的增加。手术中患者因紧张等原因导致的头位移动和固视欠佳可能会造成术后彗差等高阶像差的产生,甚至偏心切削的可能。有些术中固视不良或眼球运动可能导致负压脱失,因此手术过程中确保头位固定和固视十分重要。(2) 角膜瓣的制作 对角膜瓣进行检查后掀开并反折,仔细检查角膜瓣和基质床的大小及规则性,切削后注意角膜瓣的对位良好,确认角膜瓣附着。瓣褶皱、瓣下异物残留、角膜严重水肿均会影

响术后视觉质量。(3) 偏心切削和不规则切削 以角膜顶点或视觉中心为中心对基质进行切削,必要时切削中心需要调整移位。角膜局部组织的脱水及局部组织水分的增加可引起激光能量的变化,从而导致切削的不均匀,此外,角膜切削过程中产生的组织碎屑等可导致激光对基质床表面的不规则切削而引入高阶像差,需要在手术过程中谨慎操作,加以避免。(4) 角膜基质透镜分离及其他术中并发症 SMILE 手术可能由于激光能量异常、出现黑区或角膜组织结构异常等造成透镜分离困难,此时要注意处理方法,调整分离方向,从不同角度、不同方向轻轻分离,或使用不同的分离器械尝试分离,若预计分离困难且无法找到正常的组织和结构时可以暂时放弃手术。发生角膜基质透镜撕裂或组织残留者原则上应全部取出,尤其是光学矫正区域,但若仅是在边缘部位残留极小条带状组织(如长度为 1~2 mm,宽度在 1 mm 内)且在光学区外可以暂时观察,及时处理负压脱失、角膜帽下异物、不透明气泡产生、黑区产生等术中并发症,有效提高手术的安全性和术后视觉质量^[1,10,27]。

2.3 术后合理用药并对症治疗

合理、规范用药可以减少和避免术后并发症,促进角膜伤口的愈合。虽然抗生素滴眼液、非甾体类抗炎药物滴眼液、人工泪液或凝胶点眼是三类基础用药,但根据患者的不同情况可适当加减其他药物。例如因早期角膜水肿出现雾视者可以适当增加非甾体类抗炎药物,过矫者也可适时将非甾体类抗炎药减量或停药;术后出现眩光者适当给予缩瞳剂等以缓解症状。

可以针对视觉不良的原因进行各种视觉不良的矫治。例如 LASIK 术中因角膜瓣皱褶形成不规则散光并造成严重视觉不良症状者应尽早将角膜瓣掀起以重新平复角膜,较晚期者可在平复手术过程中先将角膜瓣水化,必要时刮除角膜上皮,以使角膜上皮重新生长。屈光性角膜切削术(photorefractive keratectomy, PRK)、LASEK 等表层手术因不规则角膜切削或角膜 haze 造成的角膜不规则散光者可以考虑行准分子激光治疗性角膜切削术,使角膜表面变得平整,以减少角膜不规则引发的视觉质量不良症状。此外,配戴硬性角膜接触镜可以辅助诊断并暂时性缓解视觉不良现象。

重视术眼的按期随访非常必要。术后随访检查应包括裸眼视力、最佳矫正视力、外眼及眼前节检查、眼压测量、角膜地形图检查,有条件者可行波前像差、对比敏感度及眩光检查、角膜生物力学、眼前节 OCT 及眼底检查。定期、规律的随访对于患者术后视觉质量的评估,分析影响患者夜间视觉质量的因素及根据视

觉不良表现及其原因有的放矢,及时予以必要的治疗和指导等均有重要意义。

3 眼科医师应重视角膜屈光手术术后的视觉质量问题

提高角膜屈光手术患者术后,特别是夜间视觉质量值得临床医师关注。患者的年龄、预矫屈光度、瞳孔直径、高阶像差、散射、角膜愈合过程和主观敏感性等因素影响夜间视觉质量的因素均为临床医师严密观察和控制的指标,临床医师还应意识到这种影响不是相对孤立的,而是多因素综合作用的结果,且与个体敏感性有直接关系。完善术前评价、科学合理的手术设计、严格手术操作规范、术后合理用药和必要的矫治手段可提高角膜屈光手术后的视觉质量,特别是夜间视觉质量。

参考文献

- [1] 中华医学会眼科学分会角膜病学组. 激光角膜屈光手术临床诊疗专家共识(2015年)[J]. 中华眼科杂志, 2015, 51(4): 249-254. DOI:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2015.04.003.
- [2] Bailey MD, Mitchell GL, Dhaliwal DK, et al. Patient satisfaction and visual symptoms after laser in situ keratomileusis[J]. Ophthalmology, 2003, 110(7): 1371-1378.
- [3] Vol N. CIE 146:2002 CIE equations for disability glare[J]. Color Res Appl, 2002, 27(6): 457-458.
- [4] 王雁, 赵堪兴. 人眼视觉光学波阵面像差的研究及进展[J]. 中华眼科杂志, 2004, 40(1): 66-69. Wang Y, Zhao KX. Advance in wave-front aberration in optometry[J]. Chin J Ophthalmol, 2004, 40(1): 66-69.
- [5] Chan A, Manche EE. Effect of preoperative pupil size on quality of vision after wavefront-guided LASIK[J]. Ophthalmology, 2011, 118(4): 736-741. DOI:10.1016/j.ophtha.2010.07.030.
- [6] Pop M, Payette Y. Risk factors for night vision complaints after LASIK for myopia[J]. Ophthalmology, 2004, 111(1): 3-10. DOI:10.1016/j.ophtha.2003.09.022.
- [7] Lee YC, Hu FR, Wang IJ. Quality of vision after laser in situ keratomileusis: influence of dioptric correction and pupil size on visual function[J]. J Cataract Refract Surg, 2003, 29(4): 769-777.
- [8] Lackner B, Pieh S, Schmidinger G, et al. Glare and halo phenomena after laser in situ keratomileusis[J]. J Cataract Refract Surg, 2003, 29(3): 444-450.
- [9] Bradley JC, Bentley KC, Mughal AI, et al. Dark-adapted pupil diameter as a function of age measured with the NeuroOptics pupillometer[J]. J Refract Surg, 2011, 27(3): 202-207. DOI: 10.3928/1081597X-20100511-01.
- [10] 王雁, 赵堪兴. 角膜屈光手术后的高阶像差与视觉质量[J]. 中华眼科杂志, 2011, 47(7): 664-668. DOI:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2011.07.022.
- [11] Jungnickel H, Babovsky H, Kiessling A, et al. Effects on vision with glare after correction of monochromatic wavefront aberrations[J]. J Refract Surg, 2011, 27(8): 602-612.
- [12] Lee HK, Choe CM, Ma KT, et al. Measurement of contrast sensitivity and glare under mesopic and photopic conditions following wavefront-guided and conventional LASIK surgery[J]. J Refract Surg, 2006, 22(7): 647-655.
- [13] Buzzonetti L, Petrocelli G, Valente P, et al. Comparison of corneal aberration changes after laser in situ keratomileusis performed with mechanical microkeratome and IntraLase femtosecond laser: 1-year follow-up[J]. Cornea, 2008, 27(2): 174-179. DOI:10.1097/ICO.0b013e31815a50bf.
- [14] Tran DB, Sarayba MA, Bor Z, et al. Randomized prospective clinical study comparing induced aberrations with IntraLase and Hansatome flap creation in fellow eyes: potential impact on wavefront-guided laser in situ keratomileusis[J]. J Cataract Refract Surg, 2005, 31(1): 97-105. DOI:10.1016/j.jcrs.2004.10.037.
- [15] Medeiros FW, Stapleton WM, Hammel J, et al. Wavefront analysis comparison of LASIK outcomes with the femtosecond laser and mechanical microkeratomes[J]. J Refract Surg, 2007, 23(9): 880-887.
- [16] Liu M, Chen Y, Wang D, et al. Clinical outcomes after SMILE and femtosecond laser-assisted LASIK for myopia and myopic astigmatism: a prospective randomized comparative study[J]. Cornea, 2016, 35(2): 210-216. DOI:10.1097/ICO.0000000000000707.
- [17] 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.0000000000000225.
- [18] Lazaridis A, Droutsas K, Sekundo W. Topographic analysis of the centration of the treatment zone after SMILE for myopia and comparison to FS-LASIK: subjective versus objective alignment[J]. J Refract Surg, 2014, 30(10): 680-686. DOI:10.3928/1081597X-20140903-04.
- [19] Wang Y, Zhao KX, He JC, et al. Ocular higher-order aberrations features analysis after corneal refractive surgery[J]. Chin Med J (Engl), 2007, 120(4): 269-273.
- [20] Zhang L, Wang Y, Geng W, et al. Ocular higher-order aberration features 10 years after photorefractive keratectomy[J]. Int Ophthalmol, 2013, 33(6): 651-657. DOI:10.1007/s10792-013-9759-x.
- [21] 李晓晶, 王雁, 窦瑞, 等. 2 mm 微切口与 3~5 mm 切口 SMILE 术后角膜高阶像差的比较[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2015, 17(10): 609-613. DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2015.10.008. Li XJ, Wang Y, Dou R, et al. Changes in higher-order aberrations in the anterior and posterior corneal surfaces and total cornea after 2 mm micro-incision SMILE and 3-5 mm SMILE [J]. Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci, 2015, 17(10): 609-613. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2015.10.008.
- [22] 刘洋辰, 王雁. 人眼散射光研究进展[J]. 中华眼科杂志, 2016, 52(1): 73-76. DOI:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2016.01.019. Liu YC, Wang Y. The research progress of straylight in human eyes[J]. Chin J Ophthalmol, 2016, 52(1): 73-76. DOI:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2016.01.019.
- [23] 徐路路, 王雁, 刘洋辰, 等. SMILE 与 FS-LASIK 术后散射变化特性的比较[J]. 中华实验眼科杂志, 2015, 33(2): 159-164. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2015.02.013. Xu LL, Wang Y, Liu YC, et al. Characteristics of straylight after small incision lenticule extraction versus femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2015, 33(2): 159-164. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2015.02.013.
- [24] 刘洋辰, 王雁, 李晶, 等. 飞秒激光角膜原位磨镶手术前后散射变化及其影响因素分析[J]. 中华实验眼科杂志, 2012, 30(12): 1096-1099. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2012.12.012. Liu YC, Wang Y, Li J, et al. Analysis of changes in stray light and relevant factors before and after femtosecond laser in situ keratomileusis[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2012, 30(12): 1096-1099. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2012.12.012.
- [25] Wolska A, Sawicki D. Evaluation of discomfort glare in the 50+ elderly: experimental study[J]. Int J Occup Med Environ Health, 2014, 27(3): 444-459. DOI:10.2478/s13382-014-0257-9.
- [26] Puell MC, Pérez-Carrasco MJ, Palomo-Alvarado C, et al. Relationship between halo size and forward light scatter[J]. Br J Ophthalmol, 2014, 98(10): 1389-1392. DOI:10.1136/bjophthalmol-2014-304872.
- [27] 中华医学会眼科学分会眼视光学组. 我国飞秒激光小切口角膜基质透镜取出手术规范专家共识(2016年)[J]. 中华眼科杂志, 2016, 52(1): 15-21. DOI:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2016.01.007.

(收稿日期:2017-04-06)

(本文编辑:尹卫靖 刘艳)