

• 综 述 •

高度近视角膜屈光术后变化特点的研究现状*

田熙睿^{1,2}综述,彭艳丽^{1,2,△}审校

(1. 中南大学爱尔眼科学院,湖南长沙 410000; 2. 重庆爱尔眼科医院,重庆 400020)

[摘要] 高度近视应用角膜屈光手术矫正后远期视力的稳定越来越引起研究者的重视。角膜屈光术后眼前段及角膜生物力学的变化对远期视力的稳定有很大影响。不同手术方式患者术后眼前段和角膜生物力学指标的变化也有所不同。该文对高度近视角膜屈光术后眼前段和角膜生物力学变化特点进行了综述,为高度近视屈光手术的临床研究提供参考。

[关键词] 高度近视; 角膜屈光手术; 角膜生物力学; 综述

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2024.10.031 **中图法分类号:**R779.6

文章编号:1009-5519(2024)10-1768-05

文献标识码:A

Current status of research on postoperative changes of corneal refractive surgery in high myopia*TIAN Xirui^{1,2}, PENG Yanli^{1,2,△}

(1. Aier School of Ophthalmology, Central South University, Changsha, Hunan 410000, China; 2. Chongqing Aier Eye Hospital, Chongqing 400020, China)

[Abstract] The stability of long-term visual acuity after corneal refractive surgery for high myopia has attracted more and more attention from researchers. The changes of anterior segment and corneal biomechanics after corneal refractive surgery have great influence on the stability of long-term vision. There are some differences in the changes of corneal surface aspheric parameters and biomechanical indexes after different preoperative diopters and different surgical methods. This study reviewed the characteristics of anterior segment and corneal biomechanical changes after high myopia corneal refractive surgery to provides reference for clinical research of high myopia refractive surgery.

[Key words] High myopia; Corneal refractive surgery; Corneal biomechanics; Review

角膜屈光手术被认为是目前最常用的眼科手术之一,可帮助患者改善眼睛的屈光状态。目前,角膜屈光手术可分为两类:(1)通过上皮准分子激光技术进行屈光性切削,这种手术通常在角膜的表层开展;(2)以飞秒激光辅助的准分子激光原位角膜磨镶术(FS-LASIK)、准分子激光上皮下角膜磨镶术(LASEK)和飞秒激光小切口基质内微镜片提取术(SMILE)为代表的角膜板层手术^[1]。

由于高度近视患者切削深度较大,术后角膜结构发生了显著变化,包括神经损伤、光密度降低、曲率增加及角膜前表面出现明显改变。此外,高度近视患者术后的波前像差增加比中低度近视患者更加明显,而且剩余角膜基质也更少,这些因素都会对患者的视觉质量产生重要影响^[2]。现将不同屈光度角膜手术后的变化情况探讨如下。

1 高度近视角膜屈光术后角膜结构变化特点

1.1 术后角膜神经改变 多年来,许多临床病例显示,无论是通过准分子激光角膜切削术(PRK)的角膜

表层手术,还是 LASIK、FS-LASIK、SMILE 等板层角膜手术,均会损伤角膜的结构,破坏其中的角膜神经,从而降低角膜的敏感度和抗形变能力及泪膜的稳定,进而引起干眼症、角膜营养性疾病及角膜敏感性下降等严重后果^[2]。近年来,由于高度近视发病率不断上升,当切削深度加深时角膜神经的损伤变得更为严重,从而使神经和组织修复的时间变得 longer,进而对眼表造成更大的影响^[3]。

有研究表明,角膜神经损伤的程度可能会因微透镜的直径、PRK/LASIK 的消融区、瓣的大小或尺寸及屈光不正的程度而有所不同,特别是高度近视 PRK 后由于肌成纤维细胞的出现率极高,从而使神经突起的生长受到了阻碍^[4]。角膜神经的修复对于保护眼睛的健康至关重要,因此,研究人员正在努力探索如何更好地预防和减轻屈光手术后并发症。

一项回顾性研究结果表明,高度近视 SMILE 后,角膜上方的切口神经恢复效果不如 LASEK 和 FS-LASIK,而在其他区域,SMILE 的效果则明显好于后

* 基金项目:重庆市科卫联合医学科研面上项目(2023MSXM122)。

△ 通信作者, E-mail: pengyanli@aierchina.com。

2 种^[3]。这意味着与中低度近视患者相比,高度近视患者手术切削的组织 and 切削深度更多,角膜神经受损也更严重,对高度近视患者手术方式选择和术后恢复提出了更严格的要求。

1.2 术后角膜光密度改变 Pentacam 三维眼前节分析技术已成功地改善了传统视网膜光密度检测方法,其能够迅速、准确地评估,有助于发现角膜内皮营养不良、屈光术后并发症、感染性等疾病^[5]的情况,并且能准确地反映视网膜的透明度。

陈琳等^[6]研究表明,SMILE 和 FS-LASIK 后早期的角膜光密度都会略微增加,但随后会逐渐减少。然而,这个结论并未得到 SAVINI 等^[5]的支持,其结果表明,角膜光密度在高度近视屈光术后下降幅度更大。经过深入研究发现,为矫正高度近视,对角膜结构施以更多的切割,造成角膜胶质细胞的数量大幅下降,从而影响了角膜的光密度。XU 等^[7]发现,接受高度近视手术后,角膜光密度值在 2~6 mm 之间显著提升,且存在统计学差异。这一结果可能与角膜上皮的重塑有关。有研究表明,SMILE 治疗后,角膜中央上皮厚度显著增加,其范围为 0~6 mm,而且随着矫正屈光度增加而增厚^[8]。通过检测角膜光密度,医生可准确地评估屈光术后患者的角膜透明度等情况,并且能更加清晰地观察切口的愈合情况。

1.3 术后角膜后表面高度差异 角膜后表面高度是评估角膜屈光手术安全性的重要指标,可尽量避免角膜表面因素的干扰,如泪液,这样才能准确地了解角膜前凸的状态。同时,这也有助于监测屈光术后的严重并发症,如圆锥角膜或屈光回退。

有研究经过准分子激光角膜屈光手术治疗后发现,与未接受此治疗的患者相比,角膜后表面高度显著增加^[8]。有研究发现,在 SMILE 后的早期,角膜后表面在 4 mm 以内出现了明显的下降,而在 6 mm 处则出现了增加,同时,在角膜顶点和 2 mm 环也会先后移动,最终又会逐渐恢复^[9]。经过深入研究发现,低、中、高度近视组患者中央区 and 周围区域,高度近视患者术后 3 个月内角膜后表面的高度变化在 2 mm 环处均有明显差异($P < 0.05$),可能是由于需要切削更多的角膜组织来矫正高度近视所致^[10]。

CHEN 等^[11]研究表明,术前屈光度越高,术后角膜前部偏移就会更加明显。在高度近视手术中,角膜基质切削量较大。因此,在进行该手术前,必须进行更为严格的筛查,并且手术设计必须更为精细,手术操作也必须更加规范。通常而言,SMILE 后角膜基质厚度应达到 280 μm 以上,以确保术后角膜表面的稳定性。对于那些角膜较薄的高度近视患者而言,PRK 等角膜表层手术可提供更优的疗效,其能更有效地保留角膜组织,并且能有效地维护角膜的生物力学特性^[12]。尽管 SMILE 和 LASIK 后角膜后表面的高度可能会维持一段时间的稳定,但对于高度近视患者

而言,这一指标的变化仍然需要密切关注。

1.4 术后角膜后表面曲率变化 角膜后表面曲率是描述屈光术后角膜前凸程度的重要指标^[13]。LASIK 后角膜强度受到中央角膜组织变薄及切开角膜瓣的影响而显著减弱,从而导致角膜后表面曲率出现明显变化^[14],使角膜的屈光状况受到影响,进而对屈光手术的疗效及术后安全性产生不利影响。

有研究表明,高度近视患者接受 LASIK 后会出现不同程度角膜后表面前凸,角膜基质厚度越小的患者膨隆越明显^[15]。表明 LASIK 后角膜后表面中央出现了不同程度的前凸,且随着残留角膜基质床的减少,中央角膜强度也会相应降低,从而使角膜前凸变得更加明显,术后出现圆锥角膜的风险会显著增加^[15]。有研究表明,高度近视患者接受 LASIK 后会出现不同程度角膜后表面中央前凸,角膜基质厚度越小的患者膨隆越明显^[16]。表明接受 LASIK 后角膜基质厚度大于 300 μm 更为安全。表明只要保留足够的角膜厚度,LASIK、SMILE 后高度近视患者的角膜曲率就能保持有效的稳定。

裴天序等^[17]采用 FS-LASIK 治疗超高度近视,取得了令人满意的结果,等效球镜度数、角膜中央厚度均得到了显著的改善,而且术后角膜后表面曲率也没有明显异常,证实 FS-LASIK 是一种安全、高效的手段。

1.5 术后角膜上皮重塑特点 修复和重塑角膜的过程相当复杂,需要角膜神经的修复和角膜上皮细胞的再生等。由于 SMILE 切口较小,对角膜上皮的干扰更小,而 LASIK 切口较大及 PRK 后切削区角膜上皮细胞需全部修复,因此,后 2 种手术方式会对角膜上皮重塑产生更大影响^[18]。侯杰等^[19]认为,PRK 后角膜上皮的修复取决于术前的屈光状态、切削深度和切削范围。刘淑娟等^[20]研究发现,SMILE 后角膜上皮增厚会对术后角膜愈合产生影响,并且会改变角膜曲率。SMILE 后,高度近视患者角膜上皮增厚程度更为明显^[21]。表明角膜上皮重塑程度可能取决于手术的切削深度和屈光度。

多种因素会对角膜上皮的修复产生影响,包括高度近视和不同的切削深度。樊利敏等^[22]发现,当患者存在低、中度或高度近视时,进行 SMILE 后 3 个月内中央上皮分别有 3、5、7 μm 的增厚。SMILE 后中、高度近视患者角膜上皮的改变程度存在显著差异;在术后 1 个月内周围角膜上皮厚度显著增加,因此,推测可能是由于切口的位置、手术操作的技巧等因素所致。GANESH 等^[23]研究发现,SMILE 后角膜上皮增厚会导致屈光状态的显著改变,尤其是对于高度近视患者而言。

有研究表明,SMILE、LASIK 后角膜上皮重塑的稳定性存在显著差异^[21];SMILE 后仅需 1 个月就可达到稳定,而 LASIK 后则需要更长的时间才能完成。有研究发现,FS-LASIK 后,角膜上皮增厚特别集中在

切削的中心区域,而 SMILE 后周边区域变化则更加明显^[24]。此外,有学者还指出,术后 1 个月内,上皮修复的效果主要取决于基质切除所带来的愈合反应^[18]。经过角膜屈光手术,上皮的改变对于恢复正常的结构和功能至关重要,其中最典型的体征是随着屈光度的升高,术后角膜上皮的重塑会更加明显。

2 高度近视屈光术后视觉质量

2.1 切削误差 一项调查结果显示,患者术后 1 d、1 周、1 个月及 3 个月近视程度明显提升,高度近视患者切削偏差明显超过中、低度近视患者,差异有统计学意义($P < 0.05$)^[25]。由于高度近视需要切削更多的角膜基质,因此,其剩余角膜基质会显著减少。WANG 等^[26]研究显示,在 SMILE 后 1 个月内,预计的透镜厚度为 $(113.68 \pm 19.35) \mu\text{m}$,但实际上,其厚度为 $(96.9 \pm 17.5) \mu\text{m}$,切削误差就是两者之间的差值;根据 3 组患者的测量数据发现,随着患者屈光度的增加,其切削误差也会相应增加,3 组患者平均切削误差分别为 (9.7 ± 6.4) 、 (12.3 ± 8.8) 、 $(17.9 \pm 6.9) \mu\text{m}$ 。表明随着术前屈光度的提升,切削深度也会相应增加,从而导致切削精度的降低,以及屈光回退的可能性。

2.2 高阶像差 波前像差检查可准确地检查出患者近视、远视、散光、球差、彗差、三叶草像差及其他复杂的像差^[27],从而有助于准确地评估患者的视觉质量。

2.2.1 总高阶像差 高阶像差、彗差和球差是衡量视觉质量的重要参数,其中角膜的高阶像差在总像差中占据着重要地位。然而,有研究发现,角膜屈光术后这些因素都会导致视力的下降,从而影响患者的视觉质量^[28]。

王红霞等^[29]进行的一项关于 SMILE、FS-LASIK 后高度近视高阶像差的比较研究结果显示,SMILE 后高阶像差、彗差、三叶草像差和球差均比 FS-LASIK 后低。有研究表明,LASIK 后早期角膜高阶像差比 SMILE 后更加稳定,可能是由于 SMILE 后角膜基质层间的冲洗不够彻底,导致层间空隙的形成。然而,FS-LASIK 则可提供更完善的冲洗效果,使层间更加紧密^[30]。有研究发现,在术后 1 个月内,SMILE 组与 FS-LASIK 组患者角膜高阶像差均有所增加^[31]。

有研究表明,SMILE 可有效改善近视患者的视力,但术后高阶像差会随着近视度数的增加而增大^[32]。因此,为改善术后的视觉质量,应该设计更大直径的角膜透镜。

2.2.2 角膜彗差 彗差是一种三阶高阶像差,用来表示角膜屈光是否规则或对称,包括垂直和水平方向^[33]。有研究表明,高度近视和中度近视患者接受屈光手术前和术后 1 个月及术后 1 年的球差和垂直彗差之间存在显著的统计学差异^[33]。随着术前屈光度的提升,周围基质的变化更加明显,而中心则变得更加平坦。进一步的研究发现,垂直彗差在 SMILE 组内及与 FS-LASIK 组之间都有显著增长($P <$

0.05)^[31],与之前的研究结果相符。SMILE 的独特之处在于其没有角膜瓣,只需要一个小切口,而且愈合过程中垂直方向角膜会出现挛缩等变化,从而导致角膜彗差的增加。然而有研究表明,这种改善可显著提升视敏度和长期视觉质量^[34],证实了 SMILE 的优势。

2.2.3 角膜三叶草像差 三叶草像差可帮助了解人眼平面的不对称性^[31]。有研究表明,FS-LASIK 组患者术后 1 个月内角膜三叶草像差明显增加,SMILE 组则没有出现显著变化^[31],与 WU 等^[35]的研究结果相符。FS-LASIK 对角膜的精确切削是通过系统来实现的,这一过程中患者转动眼睛会引起偏中心切削。而弧形设计的负压吸引环用于 SMILE 中,可有效固定眼球,患者术中的配合度比 FS-LASIK 更加出色,这样可显著降低术后角膜三叶草像差和散光发生率。由于 FS-LASIK 后角膜三叶草像差的增加难以控制,而 SMILE 后的三叶草像差虽然有一定的可控性,但需要专业的手术医生精确定位角膜的中心,而不是通过自动追踪,使 SMILE 的效果受到了限制。

2.2.4 角膜球差 角膜球面特性可用球差来表示,且角膜曲率与其密切相关。有研究显示,角膜屈光术后,角膜的非球面性会从负值转为正值,这会导致球差的显著增加,而 FS-LASIK 的增长更为显著,术后 2 组患者角膜球差明显增大,这是因为角膜的表面从原来的球形变得更加平坦,曲率也随之减小,与 SMILE 相比,FS-LASIK 球差的变化更为显著,FS-LASIK 需要进行准分子激光角膜基质切割,但由于激光切削边缘能量丢失会产生余弦效应,导致不规则切削,从而使角膜球差显著增加^[36]。

2.3 对比敏感度 视觉系统所能察觉的对比度阈值的倒数即为对比敏感度。高度近视术前佩戴厚重的凹透镜会使物像变小,同时,出现显著的球面像差,从而影响了对比敏感度。

有研究发现,SMILE 能更加安全、有效地治疗高度近视和散光,并且术后对比敏感度恢复较好,能降低高阶像差,这一结果得到了 6 个月的临床证实^[28]。此外,SMILE 也能改善患者的视觉质量,使患者能更加轻松地接受治疗。然而,由于受试者的数量及其接受治疗的持续时间有限,因此,需要扩大样本规模进行持续监测。

一项调查结果显示,LASIK 后早期患者会出现较低的对比敏感度^[37]。这种情况主要是由于光学切削的直径小于暗视状态瞳孔直径,而这种偏差超过 1.1 mm,就会导致患者对比敏感度降低。为获得更优秀的术后视觉质量,暗视状态瞳孔直径最好与光学切削直径相当。

3 高度近视角膜屈光术后角膜生物力学变化特点

通过对角膜的生物力学分析,可以直观地了解圆锥角膜的风险。眼反应分析仪被广泛用作医疗临床

检测角膜生物力学,其可准确测量角膜滞后量(CH)及角膜阻力因子(CRF)。CH 是一种重要的物理指标,用来衡量角膜黏弹性。而 CRF 则反映了角膜阻力特性,其能够反映角膜抵抗形变的能力^[38]。

有研究发现,高度近视患者 CH 和 CRF 水平显著降低,提示角膜结构可能受到影响^[38],包括弹性、黏度、水合作用及硬度等生物力学特征。有研究表明,LASIK 后,由于 CH、CRF 水平降低,对于那些有高度近视的患者而言,可能导致角膜膨隆和继发的角膜扩张,SMILE 可显著减少高度近视患者角膜的生物力学变化^[39],可能是因其术后角膜完整性好。目前,还不清楚什么因素会导致高度近视的角膜生物力学改变。但研究这种变化对于理解屈光回退和圆锥角膜的发病机制非常重要。

有研究探讨了高度近视患者在接受 SMIL 及 FS-LASIK 后,其角膜后表面的结构特征及角膜生物力学的变化,结果显示,在术后 12 个月,FS-LASIK 组 PCE 比 SMILE 组有所提高,而 CH 和 CRF 水平则比术前有所下降,不过 2 组之间的变化无差异^[38]。表明 LASIK 后角膜扩张的发病机制可能受到多种因素的影响,包括但不限于高度近视、低残留基质床和切削深度。

4 小 结

随着社会的进步,越来越多的近视患者希望能获得更好的视觉效果,因此,近年来,高度近视角膜屈光术取得了飞速发展,而术后长期视力稳定性也受到了越来越多的关注。一般而言,高度近视患者接受屈光手术后,其眼前部结构、视觉质量和角膜生物力学均会与中低度近视患者有所不同,而高度近视屈光术后想要取得远期稳定的视力,必须关注这些变化的特征和规律。高度近视屈光患者为取得更好的远期视力,仍需探索各种屈光手术的优势,完善术前检查及评估,联合多种手术设计,制定个性化手术方案,同时,辅助手术前后训练及药物治疗,才能取得更好的手术效果。此外,还应在术前和患者进行全面的沟通,充分告知其各种手术方式的优、缺点及高度近视手术的并发症,获得患者的理解及合理的期待值。近年来,随着高度近视屈光术后变化的日益显著,国内外专家纷纷开展了深入的研究,以便更好地进行术前筛查和术后设计,从而确保术后的长期疗效。随着科技的发展,未来的角膜屈光手术将在维持角膜正常生理功能的同时更好地矫治高度近视。

参考文献

[1] PNIKOWSKA Z, JUROWSKI P, WIERZBOWSKA J. Clinical evaluation of corneal biomechanics following laser refractive surgery in myopic eyes; A review of the literature[J]. J Clin Med, 2022, 12(1): 243.

[2] HOU C T, LI J F, LI J J, et al. In vivo confocal

microscopy of sub-basal corneal nerves and corneal densitometry after three kinds of refractive procedures for high myopia[J]. Int Ophthalmol, 2023, 43(3): 925-935.

- [3] 李江峰, 侯辰亭, 李金键, 等. 高度近视眼 3 种角膜屈光手术后角膜神经修复情况及角膜光密度的对比研究[J]. 中华眼科杂志, 2021, 57(4): 268-276.
- [4] 李江峰. 高度近视患者行不同激光角膜屈光术后角膜神经修复及其与光密度、眼表疾病指数(OSDI)的相关性分析[D]. 青岛: 青岛大学, 2021.
- [5] SAVINI G, HUANG J H, LOMBARDO M, et al. Objective monitoring of corneal backward light scattering after femtosecond laser-assisted LASIK[J]. J Refract Surg, 2016, 32(1): 20-25.
- [6] 陈琳, 薛雅璐, 田恬, 等. 高度近视患者 SMILE 与 FS-LASIK 术后角膜光密度的变化[J]. 宁夏医科大学学报, 2022, 44(9): 932-937.
- [7] XU C Q, YANG D M, ZHAO W X, et al. Long-term changes in corneal densitometry and associated factors following small incision lenticule extraction for moderate and high myopia[J]. Front Med (Lausanne), 2022, 9: 945894.
- [8] CAO H Z, ZHANG L, LIANG S, et al. Three-year clinical outcomes and posterior corneal elevation change after small-incision lenticule extraction in suspicious corneas[J]. J Cataract Refract Surg, 2022, 48(7): 771-777.
- [9] 高芬, 张婉婷, 周青霞, 等. 高度近视三种角膜屈光手术术后远期角膜后表面高度的变化 [J]. 中华眼外伤职业眼病杂志, 2021, 43(10): 756-761.
- [10] 徐新花. 近视患者 SMILE 矫正术后角膜切削深度及后表面高度的研究[D]. 兰州: 甘肃中医药大学, 2022.
- [11] CHEN Z Y, ZHAO Y, ZHOU X Y, et al. Seven-year observation of posterior corneal elevation after small-incision lenticule extraction in patients with moderate and high myopia[J]. J Cataract Refract Surg, 2021, 47(11): 1398-1402.
- [12] KAMIYA Z T A, SHIMIZU K, OHMOTO F. Comparison of the changes in corneal biomechanical properties after photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis[J]. Cornea, 2009, 28(7): 765-769.
- [13] 丁翌, 张之佩, 闵晓珊, 等. 近视患者前弹力层下激光角膜磨削术后 Kappa 角及角膜形态变化 [J]. 中南大学学报(医学版), 2021, 46(2): 162-168.

- [14] 朱凤,张婉君,廖超. 飞秒激光辅助准分子激光原位角膜磨镶术与小切口角膜基质透镜取出术矫治中度近视疗效随访观察[J]. 临床眼科杂志, 2022,30(2):102-106.
- [15] 王铮,杨斌,陈家祺,等. LASIK 后角膜后表面曲率变化[J]. 中国实用眼科杂志, 2000, 18(4): 238-239.
- [16] 龙克利,吴秀梅,张嘉璠,等. 飞秒激光辅助的准分子激光原位角膜磨镶术和准分子激光上皮下角膜磨镶术矫正高度近视术后两年患者角膜后表面的变化[J]. 眼科新进展, 2020, 40(1): 54-57.
- [17] 裴天序,张佳欢,姜丹妮,等. 飞秒激光制瓣 LASIK 及 Trans-PRK 矫正高度近视对角膜曲率及角膜后表面高度的影响[J]. 眼科, 2020, 29(2):123-127.
- [18] 杨凡,杨柳,黄悦. 屈光手术后角膜上皮厚度的变化规律及影响因素[J]. 国际眼科纵览, 2023, 47(1):53-57.
- [19] 侯杰,王雁,雷玉琳,等. 准分子激光屈光性角膜切削术矫治近视术后角膜上皮的重塑及相关因素分析[J]. 中华实验眼科杂志, 2017, 35(12): 1104-1108.
- [20] 刘淑娟,侯杰,张乐乐,等. SMILE 手术矫治中高度近视术后角膜上皮重塑及其与屈光度的关系[J]. 眼科新进展, 2017, 37(11):1060-1063.
- [21] 张秋露,宋彦铮,付彩云,等. 中高度近视眼 SMILE 术后早期角膜上皮重塑特点分析[J]. 眼科, 2021, 30(4):270-274.
- [22] 樊利敏,王铮. 角膜激光矫正术后上皮重塑的研究进展[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2021, 23(3):236-240.
- [23] GANESH S, BRAR S, RELEKAR K J. Epithelial thickness profile changes following small incision refractive lenticule extraction (SMILE) for myopia and myopic astigmatism[J]. J Refract Surg, 2016, 32(7):473-482.
- [24] 陶冶,周跃华,李福生,等. FS-LASIK 与 SMILE 术后角膜上皮重塑的比较[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2020, 34(2):61-66.
- [25] 徐丽娜. 高度近视眼 SMILE 术后屈光回退相关因素的临床研究[D]. 长春:吉林大学, 2020.
- [26] WANG B, ZHANG Z, NAIDU R K, et al. Comparison of the change in posterior corneal elevation and corneal biomechanical parameters after small incision lenticule extraction and femtosecond laser-assisted LASIK for high myopia correction [J]. Cont Lens Anterior Eye, 2016, 39(3): 191-196.
- [27] 钱玖林,廖莹,兰长骏. 自适应光学技术在眼科的应用进展[J]. 中华实验眼科杂志, 2022, 40(3):284-288.
- [28] 王咏,陈琦. SMILE 术后视觉质量及视功能评估的研究进展[J]. 微创医学, 2023, 18(2): 233-237.
- [29] 王红霞,黄立,胡兆垒. SMILE 和 FS-LASIK 术对高度近视患者术后早期角膜高阶像差的影响[J]. 国际眼科杂志, 2021, 21(7):1244-1248.
- [30] KARIMIAN F, FEIZI S, DOOZANDE A. Higher-order aberrations in myopic eyes[J]. J Ophthalmic Vis Res, 2010, 5(1):3-9.
- [31] 张炜. 高度近视行 SMILE 与 FS-LASIK 术后角膜高阶像差的早期临床观察[D]. 南宁:广西医科大学, 2019.
- [32] 丁萱,付单,汪琳,等. 不同屈光度近视 SMILE 术后 1 个月角膜屈光力分布及角膜高阶像差研究[J]. 中国耳鼻咽喉科杂志, 2019, 19(6):388-394.
- [33] 程蕾,朱冉,宋超. 波前像差引导 FS-LASIK 矫正中高度近视患者术后 1 年眼前节变化[J]. 眼科新进展, 2023, 43(2):142-146.
- [34] ZHAO P F, LI S M, LU J, et al. Effects of higher-order aberrations on contrast sensitivity in normal eyes of a large myopic population [J]. Int J Ophthalmol, 2017, 10(9):1407-1411.
- [35] WU W J, 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]. J Ophthalmol, 2015, 2015:758196.
- [36] ZHANG H, WANG Y, LI H. Corneal spherical aberration and corneal asphericity after small incision lenticule extraction and femtosecond Laser-Assisted LASIK [J]. J Ophthalmol, 2017, 2017:4921090.
- [37] 李慧洁. 高度近视患者 LASIK 术后对比敏感度变化的动态研究[D]. 银川:宁夏医科大学, 2021.
- [38] 黎长金,蔡若诗,陆强. 利用 Corvis ST 分析中高度近视屈光手术前后各角膜生物力学参数变化的研究[J]. 中国医药科学, 2022, 12(10):161-164.
- [39] 曹记红,蒋海翔,张丹. SMILE 与 LASEK 术治疗高度近视对患者视力恢复及并发症的影响[J]. 海南医学, 2023, 34(1):71-75.