

波前像差引导的FS-LASIK术后高阶像差变化的研究进展

蓝小梅, 杜之渝*

重庆医科大学附属第二医院眼科, 重庆

收稿日期: 2025年12月27日; 录用日期: 2026年1月21日; 发布日期: 2026年1月29日

摘要

近年来角膜屈光手术在近视矫正领域取得了长足发展,但仍存在术后视觉质量问题。波前像差引导的FS-LASIK (wavefront-guided FS-LASIK, WFG-FS-LASIK)通过个性化切削方案,能有效减少术后高阶像差,从而改善患者的对比敏感度和视觉症状,因此备受关注。本文简要概述了像差的概念及其测量原理和WFG-FS-LASIK的技术原理,综述了WFG-FS-LASIK术后总高阶像差、球差、彗差等的变化,并通过与常规FS-LASIK、SMILE等术式的比较,评估了其在像差控制方面的优势与局限。同时,深入分析了影响术后像差诱导的相关因素,如光学区设计、切削中心定位精度、患者术前像差水平及角膜生物力学特性等。以为临床医生提供制定个体化手术方案、优化手术参数及提升术后视觉质量提供循证参考。

关键词

波前像差引导, FS-LASIK, 高阶像差, 视觉质量

Research Progress on Changes in Higher-Order Aberrations after Wavefront-Guided FS-LASIK Surgery

Xiaomei Lan, Zhiyu Du*

Department of Ophthalmology, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: December 27, 2025; accepted: January 21, 2026; published: January 29, 2026

Abstract

In recent years, significant progress has been made in corneal refractive surgery for myopia

*通讯作者。

文章引用: 蓝小梅, 杜之渝. 波前像差引导的 FS-LASIK 术后高阶像差变化的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(2): 227-232. DOI: 10.12677/acm.2026.162384

correction. However, postoperative visual quality issues remain a concern. Wavefront-guided FS-LASIK (WFG-FS-LASIK) has garnered significant attention for its ability to effectively reduce postoperative higher-order aberrations through personalized ablation profiles, thereby improving patients' contrast sensitivity and alleviating visual symptoms. This article provides a brief overview of the concept of aberrations and measurement principles of aberrations, as well as the technical principles of WFG-FS-LASIK. It reviews the changes in total higher-order aberrations, spherical aberration, coma, and other aberrations following WFG-FS-LASIK, and evaluates its advantages and limitations in aberration control by comparing it with conventional FS-LASIK, SMILE, and other surgical techniques. Furthermore, it analyzes factors influencing the induction of postoperative aberrations, such as optical zone design, accuracy of ablation centration, preoperative aberration levels, and corneal biomechanical properties. The aim is to offer clinical evidence to assist surgeons in developing individualized surgical plans, optimizing surgical parameters, and enhancing postoperative visual quality.

Keywords

Wavefront-Guided, FS-LASIK, Higher-Order Aberrations, Visual Quality

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球近视患病率持续攀升, 据预测, 到 2050 年, 全球近视人口将达到约 47.58 亿, 占全球总人口的 49.8%; 其中高度近视者将达 9.38 亿, 占比约为 9.8% [1]。随着近视患病率的增加, 接受屈光手术的患者数量也逐年增长。飞秒激光辅助准分子激光原位角膜磨镶术(femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis, FS-LASIK)因角膜瓣制作精准度高、术后恢复快、安全性较好等优势, 已成为目前临床应用最广泛的角膜屈光手术术式之一[2] [3]。该术式通过飞秒激光制作厚度均匀的角膜瓣, 再以准分子激光消融角膜基质层以调整屈光力, 多数患者术后屈光状态可获得良好矫正, 总体满意度较高[4]-[6]。

然而, 临床实践中仍有部分患者术后出现光晕、眩光、对比敏感度下降等视觉质量问题, 严重影响生活质量。多项研究发现, 这些现象与术后诱导的高阶像差(high-order aberrations, HOAs)密切相关[7] [8]。因此波前像差引导的 FS-LASIK (wavefront-guided FS-LASIK, WFG-FS-LASIK)应运而生。与传统治疗方法相比, WFG-FS-LASIK 可以最大限度降低手术引入新的高阶像差的风险, 从而在暗环境和暗环境眩光条件下改善对比敏感性和视觉症状[8] [9]。但也有研究认为 WFG-FS-LASIK 的高阶像差改善效果与传统 FS-LASIK 的差异尚未达到临床显著水平, 尤其在低阶像差主导的患者中, 波前引导技术的临床应用价值尚未形成共识[10] [11]。

WFG-FS-LASIK 术后高阶像差变化与视觉质量问题至关重要但仍存疑问, 基于此, 本文通过系统梳理近年有关 WFG-FS-LASIK 与高阶像差的临床研究文献, 总结术后高阶像差的变化, 分析影响像差引入的因素, 旨在为临床医生制定个体化手术方案、优化手术参数及提升术后视觉质量提供循证参考。

2. 像差的概念与波前像差引导 FS-LASIK 的技术原理

2.1. 像差的概念

理想状态下, 从物点发出的所有光线应在眼内光学系统中完美汇聚于一个共轭焦点, 从而形成清晰

图像。然而, 由于实际光学系统存在折射界面不规则、介质折射率差异及几何形态缺陷等因素, 成像不可避免地产生偏差, 这种偏差即为“像差”[12]。目前临床上广泛使用波前像差图和 Zernike 多项式对眼部像差进行描述与量化。Zernike 多项式是一组在单位圆上正交的函数, 能够将眼球整体像差分解为多阶成分, 共包括 7 阶 35 项, 其中 0~2 阶为低阶像差(如离焦、散光), 可通过普通眼镜或角膜接触镜矫正; 3 阶及以上为高阶像差(如慧差、球差、三叶草差等), 传统屈光矫正手段无法有效控制[13]。HOAs 可能来源于角膜或晶状体先天结构差异, 也可能由手术(如屈光手术、白内障手术)或病理状态(如圆锥角膜)所诱发。HOA 对视觉质量的影响表现为图像对比度下降、夜间视力变差、眩光光晕增加等症状。故有学者提出, 在术前或术后若能通过波前引导的方式补偿 HOAs, 有望实现“零像差眼”的理论目标[14] [15]。

2.2. 波前像差的测量及 WFG-FS-LASIK 的技术原理

随着像差测量技术不断提高与发展, 波前像差仪的种类更为丰富, 可分为客观法和主观法两大类, 客观测量方法根据不同设计原理主要包括以 Hartmann-Shack 原理为基础的像差仪、以 Tscherning 原理为基础的视网膜型像差仪、以光路追迹(Ray-tracing)原理为基础的视网膜型像差仪和以视网膜检影镜双程技术为原理像差仪等; 主观测量方法即心理物理学检查方法, 因其测量耗时、采样密度较低, 未广泛应用[16] [17]。WFG-FS-LASIK 术前通过波前像差仪精确测量患者眼像差值, 并基于波前相差结果设定个性化的角膜切削模式, 术中利用飞秒激光制作角膜瓣, 然后通过准分子激光根据波前数据执行定制化基质层切削, 达到最小化新像差引入的目的。与此同时虹膜识别定位技术引导应用于术中, 能更准确进行术中定位, 避免由于体位的变化而引起眼球旋转, 更极大地提高了手术精确性[18]。

3. WFG-FS-LASIK 术后高阶像差的变化

激光角膜屈光手术在成功矫正低阶像差的同时, 不可避免地会改变角膜的生物力学结构和形态, 从而引入新的高阶像差, 或改变术前已存在的高阶像差。这些变化是影响患者术后视觉质量, 特别是夜间视力、对比敏感度以及出现眩光、光晕等症状的核心因素。WFG FS-LASIK 设计初衷正是为了优化这一结果。本部分将深入探讨 WFG FS-LASIK 术后总高阶像差、球差、彗差及三叶草差的变化特征, 并通过与常规 FS-LASIK、小切口微透镜摘除术(Small Incision Lenticule Extraction, SMILE)等术式的系统比较, 全面评估其在像差控制领域的临床价值。

3.1. 总高阶像差(Total HOAs)的变化特征

总高阶像差是所有三阶及以上像差的均方根(Root Mean Square, RMS)值的总和, 是衡量眼球整体光学质量的一个宏观指标。大量研究证实, 任何类型的角膜屈光手术后, 总 HOAs 均会呈现上升趋势, WFG FS-LASIK 亦不例外[19]-[22]。然而, 其核心价值在于显著减少上升的幅度。与常规 FS-LASIK 比较, WFG 的个性化切削算法能够有效减少术后高阶像差净增量。Gui 等(2021)的回顾性研究显示, 术后 6 个月, WFG 组的总 HOAs RMS 值(0.146 ± 0.188)显著低于常规 FS-LASIK 组(0.300 ± 0.196), 差异具有极显著的统计学意义($P < 0.001$) [23]。SMILE 作为“全飞秒”的微创术式, 因其无瓣、小切口和飞秒激光的特性, 也能很好地保持角膜生物力学强度, 减少像差诱导。Ye 等(2016)的前瞻性研究比较了多种术式术后 6 月前角膜表面的像差变化, 发现 SMILE 诱导的总 HOAs 增量($0.07 \pm 0.07 \mu\text{m}$)与 WFG FS-LASIK ($0.07 \pm 0.06 \mu\text{m}$)相当, 且两者均显著低于传统 LASIK 和常规 FS-LASIK [24]。Chen 等(2017)的研究也证实, 术后 3 个月, SMILE 与 WFG FS-LASIK 两组间的总 HOAs 无统计学差异[25]。

值得注意的是, 既往有研究表明术前本身已存在较高水平 HOAs 的患者, 术后能从 WFG 技术中获益更多, 而对于那些 HOAs $< 0.3 \mu\text{m}$ 的患者来说, 获益不大[26]。但目前大多数临床研究已经证实了 WFG

FS-LASIK 安全性、有效性与 FS-LASIK 相似甚至超过。并且 Zhang 等(2024)的研究也证实了在接受了 WFG FS-LASIK 手术后, 术前 HOAs $< 0.3 \mu\text{m}$ 患者术后也能获得优异的视觉质量[19]。这表明了 WFG 技术能为更广泛的患者带来显著的视觉改善效果。

3.2. 球差(Spherical Aberration, SA)的变化特征

球差是影响术后视觉质量的关键高阶像差之一, 特别是夜间视力和对比敏感度。球差形成物理本质是瞳孔周边光线与中央光线的焦点不一致。在理想状态下, 人眼角膜呈扁长形(prolate), 中央陡、周边平, 这种结构有助于抵消部分晶状体产生的正球差。近视矫正手术的目标是将角膜中央区削平, 但这往往导致角膜形态向扁圆形(oblate)转变, 中央平、周边相对变陡, 从而引入大量的正球差, 且这种变化随着所需矫正屈光度增大而显著, 这也同样很好地解释了术后球面像差的变化随着术前近视程度的增加而增加[11]。WFG-FS-LASIK 通过个性化切削算法, 在矫正离焦的同时补偿球差, 以维持角膜的非球面性[27]。但大量研究数据显示, WFG FS-LASIK 术后球差明显增加[23]-[25]。尽管球差依然增加, 但与常规手术相比, 其控制效果显著。Ye 等(2016)的研究发现 WFG FS-LASIK 术后的球差增量($0.19 \pm 0.20 \mu\text{m}$)显著低于常规 FS-LASIK ($0.29 \pm 0.21 \mu\text{m}$, $P < 0.001$) [24]。在球差控制方面, SMILE 术式同样展现出其优势。郑燕等(2020)报告, 术后 12 个月, SMILE 组的球差为 $0.11 (0.04, 0.18) \mu\text{m}$, 而 WFG FS-LASIK 组为 $0.15 (0.09, 0.26) \mu\text{m}$ ($P < 0.05$) [28]。这可能得益于 SMILE 更好地保留了角膜的生物力学完整性, 而且切削模式中加入了降低球差的程序设计。但通过在对比敏感度的检查结果中发现 WFG FS-LASIK 患者视觉质量优于 SMILE 患者。

除了手术方式本身, 光学区大小是影响术后球差的最关键变量。更小的光学区意味着更陡峭的切削过渡区, 会显著增加球差。WFG FS-LASIK 的一个优势在于, 其个性化切削方案通常允许并根据患者的角膜厚度、瞳孔大小等因素, 设置相对更大的光学区和过渡区, 这在一定程度上能够减少球差的引入。临床医生在术前规划时, 在安全的前提下尽可能设置较大的光学区, 是优化所有屈光手术术后球差的重要策略。

3.3. 彗差(Coma)的变化特征

彗差是一种表征光学系统不对称性的像差, 其视觉表现通常为“彗星拖尾”样的光晕, 严重影响成像的锐利度。术后彗差的产生主要与切削中心的偏离密切相关。WFG FS-LASIK 在控制彗差方面最大的技术依仗是其集成化的虹膜识别与动态眼球追踪系统。虹膜识别技术能够补偿患者从坐位检查到卧位手术时发生的眼球旋转(Cyclotorsion), 确保波前数据与角膜的实际位置精确对应。动态眼球追踪则能在激光发射过程中实时追踪眼球的微小运动, 确保切削中心始终与视轴或瞳孔中心保持一致。这套系统能最大限度地减少因体位变化和术中眼球移动导致的切削偏中心, 从而从源头上抑制彗差的诱导。多项研究发现, WFG FS-LASIK 术后水平彗差和垂直彗差与 SMILE 组相比, 尤其是垂直彗差, 控制得更好[24] [25] [29]。这直接证明了主动追踪系统在维持中心定位上的有效性。此外, 手术切口和角膜瓣的位置也可能对彗差类型产生影响[29]。理论上, 位于上方或鼻侧的角膜瓣蒂可能引入特定方向的彗差。WFG FS-LASIK 能够通过其算法对此进行一定程度的预补偿。

3.4. 三叶草差(Trefoil)的变化特征

三叶草差是另一种三阶像差, 其对视觉质量的影响通常被认为小于球差和彗差。关于 WFG FS-LASIK 对三叶草差影响的研究数据相对较少, 且结论不一。部分研究显示, WFG FS-LASIK 术后三叶草差变化不显著。然而, Chen 等(2017)的研究指出, SMILE 手术诱导的三叶草差高于 WFG FS-LASIK [25]。这再

次印证了中心定位精度对维持角膜切削对称性的重要性。三叶草差可能更多地与个体角膜固有的不对称性以及手术中难以完全避免的、极其微小的偏中心有关。WFG FS-LASIK 的精准定位系统使其在维持整体对称性上可能更具优势。

对于更高阶的像差(如四阶的次级球差等), 由于其绝对值通常很小, 且测量重复性面临挑战, 目前尚缺乏足够有力的证据来明确区分不同术式间的差异。总体而言, 这些像差对临床视觉质量的影响也相对有限。

4. 小结

综上所述, WFG-FS-LASIK 是屈光手术向个性化、精准化发展的重要技术方向。其核心价值在于通过个性化切削与精准定位系统, 有效减少术后高阶像差的引入, 尤其是在控制慧差、三叶草差及总高阶像差方面具有明显优势。该技术对于术前已存在显著高阶像差的患者、对夜间视力或对比敏感度有较高要求的患者, 以及角膜形态相对规则但存在明显光学缺陷的患者, 能提供更精准、个性化的解决方案, 获得优于常规手术的视觉质量。即便对于术前高阶像差水平较低的患者, 该技术也表现出良好的安全性与有效性。尽管在控制球差方面, WFG-FS-LASIK 仍难以完全避免术后正球差的增加, 但其视觉质量结果仍普遍优于常规 FS-LASIK 及 SMILE。此外, 手术效果受制于光学区设计、切削中心定位精度、患者角膜生物力学特性及术前像差测量的精确性等多重因素。因此, WFG-FS-LASIK 应用应建立在严格的术前筛查、精准的术中操作及合理的患者期望值管理之上。未来研究应致力于进一步优化切削算法, 整合更多的角膜生物力学参数, 并在更长的随访期内评估其稳定性, 从而不断推动屈光手术视觉质量的提升。

参考文献

- [1] Modjtahedi, B.S., Ferris, F.L., Hunter, D.G. and Fong, D.S. (2018) Public Health Burden and Potential Interventions for Myopia. *Ophthalmology*, **125**, 628-630. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.01.033>
- [2] Yu, C.Q. and Manche, E.E. (2015) Comparison of 2 Femtosecond Lasers for Flap Creation in Myopic Laser *in Situ* Keratomileusis: One-Year Results. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **41**, 740-748. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2014.06.038>
- [3] Al-Zeraid, F.M. and Osuagwu, U.L. (2016) Induced Higher-Order Aberrations after Laser *in Situ* Keratomileusis (LASIK) Performed with Wavefront-Guided Intralase Femtosecond Laser in Moderate to High Astigmatism. *BMC Ophthalmology*, **16**, Article No. 29. <https://doi.org/10.1186/s12886-016-0205-5>
- [4] 孙西宇, 申笛, 王晓睿, 等. FS-LASIK 术后满意度和夜间视觉症状及其相关因素分析[J]. 国际眼科杂志, 2021, 21(9): 1617-1621.
- [5] Mäkinen, P., Huhtala, A., Pietilä, J., Näntinen, J., Rajala, T., Salmenhaara, K., *et al.* (2019) Patient Satisfaction and Self-Reported Dry Eye Symptoms in Hyperopic Patients Treated with Femtosecond Laser *in Situ* Keratomileusis. *Clinical Ophthalmology*, **13**, 741-754. <https://doi.org/10.2147/ophth.s195991>
- [6] Chen, L.Y. and Manche, E.E. (2016) Comparison of Femtosecond and Excimer Laser Platforms Available for Corneal Refractive Surgery. *Current Opinion in Ophthalmology*, **27**, 316-322. <https://doi.org/10.1097/icu.0000000000000268>
- [7] 李羽, 汪思瑶, 郭玉娟, 等. 飞秒激光 LASIK 术后视觉质量的研究进展[J]. 医药论坛杂志, 2023, 44(24): 108-112, 129.
- [8] Kim, A. and Chuck, R.S. (2008) Wavefront-guided Customized Corneal Ablation. *Current Opinion in Ophthalmology*, **19**, 314-320. <https://doi.org/10.1097/icu.0b013e328302ccae>
- [9] Manche, E. and Roe, J. (2018) Recent Advances in Wavefront-Guided Lasik. *Current Opinion in Ophthalmology*, **29**, 286-291. <https://doi.org/10.1097/icu.0000000000000488>
- [10] Stonecipher, K., Parrish, J. and Stonecipher, M. (2018) Comparing Wavefront-Optimized, Wavefront-Guided and Topography-Guided Laser Vision Correction: Clinical Outcomes Using an Objective Decision Tree. *Current Opinion in Ophthalmology*, **29**, 277-285. <https://doi.org/10.1097/icu.0000000000000495>
- [11] Russo, A., Filini, O., Salvalai, C., Boldini, A., Festa, G., Delcassi, L., *et al.* (2021) Two-Year Changes in Corneal Spherical Aberration after Laser-Assisted *in Situ* Keratomileusis and Photorefractive Keratectomy in Regular and Wavefront-

- Guided Ablations. *Ophthalmology and Therapy*, **10**, 1003-1014. <https://doi.org/10.1007/s40123-021-00392-9>
- [12] Mierdel, P., Kaemmerer, M., Mrochen, M., Krinke, H. and Seiler, T. (2001) Ocular Optical Aberrometer for Clinical Use. *Journal of Biomedical Optics*, **6**, 200-204. <https://doi.org/10.1117/1.1344589>
- [13] McAlinden, C., McCartney, M. and Moore, J. (2011) Mathematics of Zernike Polynomials: A Review. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, **39**, 820-827. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2011.02562.x>
- [14] Marcos, S., Artal, P., Atchison, D.A., Hampson, K., Legras, R., Lundström, L., *et al.* (2022) Adaptive Optics Visual Simulators: A Review of Recent Optical Designs and Applications [invited]. *Biomedical Optics Express*, **13**, 6508-6532. <https://doi.org/10.1364/boe.473458>
- [15] Lombardo, M. and Lombardo, G. (2010) Wave Aberration of Human Eyes and New Descriptors of Image Optical Quality and Visual Performance. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **36**, 313-331. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.09.026>
- [16] 王梅洁, 廖莹, 兰长骏. 波前像差仪在眼科的应用进展[J]. 川北医学院学报, 2020, 35(3): 542-546.
- [17] 於水清, 徐海萍, 瞿佳. 四种临床波前像差仪的原理和特点分析[J]. 国际眼科杂志, 2011, 11(5): 830-833.
- [18] Ghosh, S., Couper, T.A., Lamoureux, E., Jhanji, V., Taylor, H.R. and Vajpayee, R.B. (2008) Evaluation of Iris Recognition System for Wavefront-Guided Laser *in Situ* Keratomileusis for Myopic Astigmatism. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **34**, 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2007.09.022>
- [19] Zhang, Y., Du, Y., He, M., Zhang, Y. and Du, Z. (2024) Comparison of Visual Quality after Wavefront-Guided LASIK in Patients with Different Levels of Preoperative Total Ocular Higher-Order Aberrations: A Retrospective Study. *PeerJ*, **12**, e17940. <https://doi.org/10.7717/peerj.17940>
- [20] Zhang, Y., Sun, X. and Chen, Y. (2022) Comparison of Corneal Optical Quality after SMILE, Wavefront-Optimized LASIK and Topography-Guided LASIK for Myopia and Myopic Astigmatism. *Frontiers in Medicine*, **9**, Article 870330 <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.870330>
- [21] Moussa, S., Dexl, A.K., Krall, E.M., Arlt, E.M., Grabner, G. and Ruckhofer, J. (2016) Visual, Aberrometric, Photoc Phenomena, and Patient Satisfaction after Myopic Wavefront-Guided LASIK Using a High-Resolution Aberrometer. *Clinical Ophthalmology*, **10**, 2489-2496. <https://doi.org/10.2147/ophth.s108002>
- [22] Shetty, R., Matalia, H., Nandini, C., Shetty, A., Khamar, P., Grover, T., *et al.* (2018) Wavefront-Guided LASIK Has Comparable Ocular and Corneal Aberrometric Outcomes but Better Visual Acuity Outcomes than SMILE in Myopic Eyes. *Journal of Refractive Surgery*, **34**, 527-532. <https://doi.org/10.3928/1081597x-20180607-02>
- [23] Gui, X., Zhang, R., Li, S., Zhao, N., Zhang, H.R., Zhou, Y.K., Huan, C.Y., Zhao, C.Y., Wang, H.Y., Song, H.Y., Shen, W. and Zhang, J.H. (2021) Comparative Analysis of the Clinical Outcomes between Wavefront-Guided and Conventional Femtosecond LASIK in Myopia and Myopia Astigmatism. *International Ophthalmology*, **14**, 1581-1588.
- [24] Ye, M., Liu, C., Liao, R., Gu, Z., Zhao, B. and Liao, Y. (2016) SMILE and Wavefront-Guided LASIK Out-Compete Other Refractive Surgeries in Ameliorating the Induction of High-Order Aberrations in Anterior Corneal Surface. *Journal of Ophthalmology*, **2016**, Article ID: 8702162. <https://doi.org/10.1155/2016/8702162>
- [25] Chen, X., Wang, Y., Zhang, J., Yang, S., Li, X. and Zhang, L. (2017) Comparison of Ocular Higher-Order Aberrations after SMILE and Wavefront-Guided Femtosecond LASIK for Myopia. *BMC Ophthalmology*, **17**, Article No. 42. <https://doi.org/10.1186/s12886-017-0431-5>
- [26] Binder, P.S. and Rosenshein, J. (2007) Retrospective Comparison of 3 Laser Platforms to Correct Myopic Spheres and Spherocylinders Using Conventional and Wavefront-Guided Treatments. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **33**, 1158-1176. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2007.03.040>
- [27] Valentina, B.S., Ramona, B., Speranta, S. and Calin, T. (2015) The Influence of Optical Aberrations in Refractive Surgery. *Romanian Journal of Ophthalmology*, **59**, 217-222.
- [28] Zheng, Y., Zhou, Y.H., Zhang, J., Zhang, L., Zhai, C.B., Hu, Y.B., Liu, J. and Wang, Y. (2020) [Comparison of the Visual Quality at 1 Year Following Femtosecond Laser-Assisted LASIK, Wavefront-Guided Femtosecond LASIK and Small Incision Lenticule Extraction for Myopia and Astigmatism]. *Chinese Journal of Ophthalmology*, **56**, 118-125.
- [29] Khalifa, M.A., Ghoneim, A.M., Shaheen, M.S. and Piñero, D.P. (2017) Vector Analysis of Astigmatic Changes after Small-Incision Lenticule Extraction and Wavefront-Guided Laser *in Situ* Keratomileusis. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **43**, 819-824. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.03.033>