

全飞秒手术与 Q 值引导半飞秒手术对波前像差的影响对比

赵海峰

引用: 赵海峰. 全飞秒手术与 Q 值引导半飞秒手术对波前像差的影响对比. 国际眼科杂志, 2025, 25(12): 2028-2031.

基金项目: 江西省卫生健康委科技计划(No.SKJP1320241516)

作者单位: (336000)中国江西省宜春市, 宜春爱尔眼科医院

作者简介: 赵海峰, 硕士, 副主任医师, 副院长, 研究方向: 屈光手术。

通讯作者: 赵海峰. 413261330@qq.com

收稿日期: 2025-06-20 修回日期: 2025-10-29

摘要

目的: 比较全飞秒小切口角膜基质透镜取出术(SMILE)与 Q 值引导的飞秒激光制瓣准分子激光原位角膜磨镶术(Q 值-FS-LASIK)术后角膜波前像差的变化特征, 探讨两种术式对视觉质量的影响。

方法: 纳入 2024 年 1 月至 2024 年 6 月行屈光手术的近视患者 60 例 120 眼, 分为 SMILE 组(60 眼)和 Q 值-FS-LASIK 组(60 眼)。术前, 术后 1、3、6 mo 采用 Pentacam HR、iTrace 测量角膜前表面 6 mm 区域的总高阶像差(RMS HOA)、球差(Z40)、垂直彗差(C8)、水平彗差(C9)及三叶草(C11)、斯特列尔比(SR)及调制传递函数(MTF)。结合患者报告结局(PROs)评估主观视觉质量, 并比较组间差异。

结果: 两组患者一般资料具有可比性。术后 6 mo, 两组裸眼视力(UCVA)均 ≥ 1.0 , 等效球镜(SE)稳定在 ± 0.50 D 以内。术后 6 mo, SMILE 组总 RMS HOA (0.38 ± 0.12 μm) 显著低于 Q 值-FS-LASIK 组 (0.45 ± 0.15 μm) ($P = 0.012$); Q 值-FS-LASIK 组球差 (0.52 ± 0.18 μm) 较 SMILE 组 (0.35 ± 0.14 μm) 更高 ($P < 0.001$), 而 SMILE 组垂直彗差 (0.21 ± 0.09 μm) 显著高于 Q 值-FS-LASIK 组 (0.12 ± 0.07 μm) ($P = 0.003$); 两组不同时间水平彗差及三叶草无差异(均 $P > 0.05$)。术后 6 mo, SMILE 组 SR (0.26 ± 0.05) 优于 Q 值-FS-LASIK 组 (0.22 ± 0.04) ($P = 0.008$)。SMILE 组夜间驾驶困难发生率(12%)低于 Q 值-FS-LASIK 组(21%) ($P = 0.023$)。

结论: Q 值-FS-LASIK 通过优化角膜非球面性有效控制球差, 但总高阶像差较高; SMILE 因无需制瓣减少了总像差, 但垂直彗差增加更显著。临床需根据患者屈光状态及视觉需求个性化选择术式。

关键词: 全飞秒小切口角膜基质透镜取出术; Q 值引导的飞秒激光制瓣准分子激光原位角膜磨镶术; 波前像差; 球差; 彗差

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.12.24

Comparison of the effects of small incision lenticule extraction and Q-value-guided femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis on wavefront aberrations

Zhao Haifeng

Foundation item: Science and Technology Plan Project of Health Commission of Jiangsu Province (No.SKJP1320241516)

Yichun Aier Eye Hospital, Yichun 336000, Jiangxi Province, China

Correspondence to: Zhao Haifeng, Yichun Aier Eye Hospital, Yichun 336000, Jiangxi Province, China. 413261330@qq.com

Received: 2025-06-20 Accepted: 2025-10-29

Abstract

• AIM: To compare the characteristics of corneal wavefront aberrations following small incision lenticule extraction (SMILE) and Q-value-guided femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis (Q-value-FS-LASIK), and to evaluate the impact of these two procedures on visual quality.

• METHODS: A total of 60 myopic patients (120 eyes) who underwent refractive surgery between January 2024 and June 2024 were enrolled and divided into two groups: the SMILE group (60 eyes) and the Q-value-FS-LASIK group (60 eyes). Preoperatively and at 1, 3, and 6 mo postoperatively, the following parameters were measured using the Pentacam HR and iTrace systems within a 6 mm corneal zone: root mean square of higher-order aberrations (RMS HOA), spherical aberration, vertical coma, horizontal coma, trefoil, Strehl ratio (SR), and modulation transfer function (MTF). Patient-reported outcomes (PROs) were used to assess subjective visual quality, and group differences were compared.

• RESULTS: The general data of the two groups were comparable. At 6 mo postoperatively, uncorrected visual acuity (UCVA) was ≥ 1.0 in both groups, and the spherical equivalent (SE) remained within ± 0.50 D. The total RMS HOA was significantly lower in the SMILE group (0.38 ± 0.12 μm) than in the Q-value-FS-LASIK group (0.45 ± 0.15 μm ; $P = 0.012$). Spherical aberration was higher in the Q-value-FS-LASIK group (0.52 ± 0.18 μm) compared to the SMILE group (0.35 ± 0.14 μm ; $P < 0.001$), while vertical coma was significantly greater in the SMILE group (0.21 ± 0.09 vs 0.12 ± 0.07 μm ; $P = 0.003$). No significant intergroup differences were observed in horizontal coma or trefoil (all $P > 0.05$). The SR was superior in the SMILE group (0.26 ± 0.05) compared to the

Q-value-FS-LASIK group (0.22 ± 0.04 ; $P = 0.008$). PROs indicated a lower incidence of nighttime driving difficulties in the SMILE group (12% vs 21%; $P = 0.023$).

• CONCLUSION: Q-value-FS-LASIK effectively controls spherical aberration by optimizing corneal asphericity but results in higher total higher-order aberrations. SMILE reduces total aberrations due to its flap-free design but induces greater vertical coma. The choice of procedure should be tailored to the patient's refractive status and visual demands.

• KEYWORDS: small incision lenticule extraction (SMILE); Q-value-guided femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis; wavefront aberrations; spherical aberration; coma

Citation: Zhao HF. Comparison of the effects of small incision lenticule extraction and Q-value-guided femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis on wavefront aberrations. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2025, 25(12):2028–2031.

0 引言

随着屈光手术向精准化和个性化发展,术后视觉质量的优化成为核心挑战。角膜屈光手术的核心目标不仅是矫正屈光不正,还需最大限度减少术后高阶像差(higher-order aberrations, HOAs)对视觉质量的影响。近年来,全飞秒小切口角膜基质透镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE)因其无瓣、微创的特点,显著降低了角膜生物力学扰动,但其2 mm切口可能引入不对称像差(如垂直彗差)^[1]。另一方面,Q值引导的飞秒激光制瓣准分子激光原位角膜磨镶术(Q-value-guided femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis, Q值-FS-LASIK)通过优化角膜非球面性(Q值)减少球差,但制瓣过程可能增加总高阶像差^[2]。目前,两种术式对波前像差的影响机制及差异仍需深入探讨,尤其是切口位置、光学区设计等参数对像差演变的调控机制尚未明确。波前像差源于角膜和晶状体的光学系统不完美,其中高阶像差(如球差、彗差)在瞳孔扩大时显著影响对比敏感度和夜间视力。研究表明,RMS HOA (root mean square of higher-order aberrations)每增加0.1 μm,斯特列尔比下降约0.03,导致MTF曲线在低频段(<10 c/d)衰减加剧^[3]。既往研究表明,SMILE术后球差增加幅度低于传统FS-LASIK,但垂直彗差可能因切口位置不对称而升高^[3]。Q值-FS-LASIK通过动态眼球追踪和非球面切削设计,理论上可减少球差,但其对总高阶像差的综合影响尚未明确^[4]。既往研究多聚焦单一术式或短期随访,缺乏对垂直彗差动态变化及患者主观体验的系统分析。本研究首次整合多时间点像差参数、客观视觉质量指标(MTF, SR)及标准化PROs,并探讨切口位置对彗差的影响机制,为优化手术设计提供新证据。

1 对象和方法

1.1 对象 纳入2024年1月至2024年6月于我院行屈光手术的近视患者60例120眼,随机分为SMILE组和Q值-FS-LASIK组,每组60眼。纳入标准:(1)年龄18~45岁,近视等效球镜(SE)-1.00~-8.00 D,散光≤-3.00 D;(2)角膜中央厚度≥480 μm,预估术后基质床厚度≥280 μm;(3)能完成全部随访。排除标准:(1)圆锥角膜、干眼(OSDI评分>22分)、青光眼;(2)既往眼部手术史或外伤

史;(3)存在手术的禁忌证。本研究取得医学伦理委员会审查批准(批准号:AF-IRB-07-01),所有参与者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 手术方法 (1) SMILE组:设备:VisuMax飞秒激光系统;参数:角膜帽厚度110 μm,透镜直径6.5 mm,切口长度2 mm(上方);手术步骤:手术由同一医生完成,通过飞秒设备配套负压吸引后依次扫描透镜后表面、边缘及前表面,经2 mm切口取出完整透镜。(2) Q值-FS-LASIK组:设备:VisuMax飞秒激光系统联合SWavelight EX500准分子激光;参数:角膜瓣厚度110 μm,直径8.5 mm,切削光学区6.5 mm,目标Q值-0.25;手术步骤:手术由同一医生完成,通过飞秒设备配套负压吸引后制作角膜瓣,之后掀开角膜瓣,选择Q值优化模式用准分子激光消融基质层,最后复位角膜瓣。

1.2.2 评估指标 术前、术后1、3、6 mo测量以下参数:(1)视力及屈光度:裸眼视力(uncorrected visual acuity, UCVA)、最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA)、等效球镜(spherical equivalent, SE)。(2)波前像差:Pentacam HR系统测量6 mm瞳孔下总高阶像差(RMS HOA)、球差(Z40)、垂直彗差(C8)、水平彗差(C9)及三叶草(C11)。(3)视觉质量:iTrace评估斯特列尔比(SR)、调制传递函数(MTF);(4)患者报告结局:采用标准化问卷(NEI-RQL-42)评估眩光、夜间驾驶困难、视物模糊等症狀,评分范围0~100分(分值越高表示症状越轻)。

统计学分析:采用统计学软件SPSS 26.0进行分析,计量资料以均值±标准差表示,组间比较采用独立样本t检验,重复测量资料比较采用重复测量数据的方差分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料 两组患者年龄、术前SE、角膜厚度、角膜曲率及各项波前像差参数比较,差异无统计学意义(均 $P > 0.05$,表1),具有可比性。

2.2 术后视力及屈光度 术后6 mo,两组UCVA均≥1.0,SE稳定在±0.50 D以内。术后6 mo,SMILE手术与Q值-FS-LASIK手术在UCVA和SE方面效果相当,观察到的微小均值差异在统计学上不显著(表2)。

2.3 波前像差变化

2.3.1 总 RMS HOA 两组不同时间总RMS HOA存在显著的时间和组间主效应($F_{\text{时间}} = 8.62, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{组间}} = 6.45, P_{\text{组间}} = 0.012$),无交互效应($F_{\text{交互}} = 1.23, P_{\text{交互}} = 0.298$)。术后1 mo,SMILE组与Q值-FS-LASIK组总RMS HOA比较差异有统计学意义($t = 2.89, P = 0.005$)。随时间推移,SMILE组总RMS HOA逐渐下降,术后6 mo稳定于 $0.38 \pm 0.12 \mu\text{m}$,而Q值-FS-LASIK组为 $0.45 \pm 0.15 \mu\text{m}$,差异有统计学意义($P = 0.012$),见表3。

2.3.2 球差 两组不同时间球差存在显著的时间和组间主效应($F_{\text{时间}} = 5.78, P_{\text{时间}} = 0.001; F_{\text{组间}} = 18.34, P_{\text{组间}} < 0.001$),无交互效应($F_{\text{交互}} = 0.87, P_{\text{交互}} = 0.458$)。术后1 mo,Q值-FS-LASIK组球差显著高于SMILE组。术后6 mo,Q值-FS-LASIK组球差降至 $0.52 \pm 0.18 \mu\text{m}$,但仍高于SMILE组($P < 0.001$),见表3。

2.3.3 垂直彗差与水平彗差 两组不同时间垂直彗差存在显著的时间和组间主效应($F_{\text{时间}} = 4.56, P_{\text{时间}} = 0.005; F_{\text{组间}} = 9.87, P_{\text{组间}} = 0.002$),无交互效应($F_{\text{交互}} = 1.12, P_{\text{交互}} = 0.292$)。术后1 mo,SMILE组垂直彗差显著低于Q值-FS-LASIK组,术后6 mo,两组差异无统计学意义($P = 0.052$),见表3。

0.341)。术后 1 mo, SMILE 组 垂直彗差显著高于 Q 值-FS-LASIK 组 ($P=0.002$)。术后 6 mo, SMILE 组 垂直彗差降至 $0.21\pm0.09 \mu\text{m}$, 但仍高于 Q 值-FS-LASIK 组 ($P=0.003$)。两组不同时间水平彗差比较, 差异无统计学意义 ($F_{\text{组间}}=1.56, P_{\text{组间}}=0.214; F_{\text{时间}}=2.01, P_{\text{时间}}=0.118$), 见表 3。

2.3.4 三叶草像差 两组不同时间三叶草像差比较, 差异

无统计学意义 ($F_{\text{组间}}=0.98, P_{\text{组间}}=0.324; F_{\text{时间}}=1.45, P_{\text{时间}}=0.238$), 见表 3。

2.3.5 视觉质量 术后 6 mo, SMILE 组 SR 显著高于 Q 值-FS-LASIK 组 ($P=0.008$)。MTF 曲线显示, SMILE 组在 10, 30 c/d 空间频率下的对比敏感度更高(表 4)。SMILE 组夜间驾驶困难发生率(12%)低于 Q 值-FS-LASIK 组(21%) ($P=0.023$)。

表 1 两组患者术前基线资料比较

| 指标 | SMILE 组 ($n=60$) | Q 值-FS-LASIK 组 ($n=60$) | $\bar{x}\pm s$ |
|----------------------------|--------------------|---------------------------|----------------|
| 年龄(岁) | 28.7 ± 5.2 | 29.1 ± 5.8 | 0.67 |
| 术前 SE(D) | -4.25 ± 1.32 | -4.18 ± 1.45 | 0.72 |
| 角膜厚度(μm) | 532 ± 35 | 528 ± 38 | 0.45 |
| 角膜曲率(D) | 43.2 ± 1.6 | 43.5 ± 1.8 | 0.28 |
| 总 RMS HOA(μm) | 0.31 ± 0.10 | 0.29 ± 0.09 | 0.26 |
| 球差(μm) | 0.28 ± 0.11 | 0.26 ± 0.10 | 0.30 |
| 垂直彗差(μm) | 0.10 ± 0.05 | 0.09 ± 0.04 | 0.21 |
| 水平彗差(μm) | 0.08 ± 0.04 | 0.07 ± 0.03 | 0.14 |
| 三叶草(μm) | 0.06 ± 0.03 | 0.05 ± 0.02 | 0.06 |

表 2 术后 6 mo 两组患者视力及屈光度比较

| 组别 | 眼数 | UCVA(LogMAR) | $\bar{x}\pm s$ |
|----------------|----|----------------|----------------|
| SMILE 组 | 60 | -0.02 ± 0.05 | 0.18 ± 0.22 |
| Q 值-FS-LASIK 组 | 60 | -0.03 ± 0.06 | 0.21 ± 0.25 |
| P | | 0.327 | 0.473 |

表 3 两组患者术前术后不同时间波前像差参数对比

| 参数 | 眼数 | 术前 | 术后 1 mo | 术后 3 mo | 术后 6 mo |
|----------------|----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 总 RMS HOA | | | | | |
| SMILE 组 | 60 | 0.31 ± 0.10 | 0.42 ± 0.14 | 0.40 ± 0.13 | 0.38 ± 0.12 |
| Q 值-FS-LASIK 组 | 60 | 0.29 ± 0.09 | 0.50 ± 0.16 | 0.48 ± 0.17 | 0.45 ± 0.15 |
| 球差 | | | | | |
| SMILE 组 | 60 | 0.28 ± 0.11 | 0.37 ± 0.15 | 0.36 ± 0.14 | 0.35 ± 0.14 |
| Q 值-FS-LASIK 组 | 60 | 0.26 ± 0.10 | 0.55 ± 0.20 | 0.53 ± 0.19 | 0.52 ± 0.18 |
| 垂直彗差 | | | | | |
| SMILE 组 | 60 | 0.10 ± 0.05 | 0.25 ± 0.10 | 0.23 ± 0.09 | 0.21 ± 0.09 |
| Q 值-FS-LASIK 组 | 60 | 0.09 ± 0.04 | 0.15 ± 0.08 | 0.14 ± 0.07 | 0.12 ± 0.07 |
| 水平彗差 | | | | | |
| SMILE 组 | 60 | 0.08 ± 0.04 | 0.10 ± 0.06 | 0.09 ± 0.05 | 0.08 ± 0.04 |
| Q 值-FS-LASIK 组 | 60 | 0.07 ± 0.03 | 0.09 ± 0.05 | 0.08 ± 0.04 | 0.07 ± 0.03 |
| 三叶草 | | | | | |
| SMILE 组 | 60 | 0.06 ± 0.03 | 0.08 ± 0.04 | 0.07 ± 0.03 | 0.06 ± 0.03 |
| Q 值-FS-LASIK 组 | 60 | 0.05 ± 0.02 | 0.07 ± 0.03 | 0.06 ± 0.02 | 0.05 ± 0.02 |

表 4 两组患者不同时间视觉质量参数对比

| 参数 | 眼数 | 术前 | 术后 1 mo | 术后 3 mo | 术后 6 mo |
|----------------|----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| SR | | | | | |
| SMILE 组 | 60 | 0.22 ± 0.05 | 0.24 ± 0.05 | 0.25 ± 0.06 | 0.26 ± 0.05 |
| Q 值-FS-LASIK 组 | 60 | 0.20 ± 0.04 | 0.20 ± 0.04 | 0.21 ± 0.05 | 0.22 ± 0.04 |
| MTF@ 10 c/d | | | | | |
| SMILE 组 | 60 | 0.58 ± 0.11 | 0.60 ± 0.10 | 0.61 ± 0.11 | 0.62 ± 0.11 |
| Q 值-FS-LASIK 组 | 60 | 0.56 ± 0.10 | 0.55 ± 0.10 | 0.56 ± 0.11 | 0.57 ± 0.12 |
| MTF@ 30 c/d | | | | | |
| SMILE 组 | 60 | 0.36 ± 0.10 | 0.35 ± 0.09 | 0.36 ± 0.10 | 0.38 ± 0.10 |
| Q 值-FS-LASIK 组 | 60 | 0.34 ± 0.09 | 0.30 ± 0.08 | 0.31 ± 0.09 | 0.32 ± 0.10 |

3 讨论

本研究通过对比 SMILE 与 Q 值-FS-LASIK 术后波前像差的变化,揭示了两种术式对视觉质量影响的差异性机制。结果显示,Q 值-FS-LASIK 通过非球面切削设计理论上可以降低球差,但其总高阶像差仍高于 SMILE 组,而 SMILE 因无需制瓣减少了总像差,但垂直彗差增加更显著。这一发现与既往研究一致^[5],可能是因为 SMILE 的层间透镜取出可保留前部角膜胶原纤维的连续性,减少术后角膜后表面膨隆,从而降低总像差。而 Q 值-FS-LASIK 的制瓣导致前弹力层中断,可能诱发瓣边缘愈合界面不规则性,增加散射光,但亦存在新的临床启示。

3.1 球差 理论上 Q 值-FS-LASIK 手术通过非球面切削,可以使得手术后的球差增加低于传统 FS-LASIK 手术后的球差增加^[6],但 Q 值-FS-LASIK 组术后 6 mo 球差 ($0.52 \pm 0.18 \mu\text{m}$) 显著高于 SMILE 组 ($0.35 \pm 0.14 \mu\text{m}$) ($P < 0.001$),与文献中 Q 值优化可降低球差的理论预期有差距^[7],因此 Q 值-FS-LASIK 组球差较高提示其非球面切削的补偿效果有限。可能原因包括:(1)余弦衰减效应:Q 值-FS-LASIK 的光学区通常为 6.5 mm,但周边存在余弦效应,即准分子激光在光学区边缘的能量损失导致实际切削区小于预设值,而 SMILE 是通过透镜取出的 6.5 mm 的光学区,对周边角膜基质的去除更为彻底,较大的光学区可能减少周边角膜曲率突变,从而降低球差^[8]。(2)角膜瓣影响:Q 值-FS-LASIK 的角膜瓣 ($110 \mu\text{m}$) 可能导致前表面曲率重塑不完全,抵消了非球面切削的效益^[9]。全飞秒 SMILE 术通过基质内透镜取出规避角膜瓣相关并发症,而 Q-FS-LASIK 却面临角膜瓣边缘光散射增加的风险^[3]。(3)角膜生物力学响应差异:准分子激光切削导致的角膜前表面平坦化效应未被 Q 值调整完全抵消,而 SMILE 的层间透镜取出技术减少了角膜中央平坦化效应,从而降低球差^[10]。

3.2 彗差 SMILE 组术后 6 mo 垂直彗差 ($0.21 \pm 0.09 \mu\text{m}$) 显著高于 Q 值-FS-LASIK 组 ($0.12 \pm 0.07 \mu\text{m}$) ($P = 0.003$),与文献报道的 SMILE 术后不对称切口愈合理论一致^[11]。SMILE 的 2 mm 侧切口位于上方,可能引起角膜上下方生物力学差异,导致垂直方向像差增加。SMILE 组垂直彗差 ($0.21 \pm 0.09 \mu\text{m}$) 的升高与切口位置诱导角膜不对称重塑的假说相符^[3]。建议术中采用颞侧切口(而非传统上方切口)以减少垂直方向像差,有报道称颞侧切口对水平彗差影响较小^[12]。

3.3 总 RMS HOA 尽管 Q 值-FS-LASIK 组术后 6 mo 总 RMS HOA ($0.45 \pm 0.15 \mu\text{m}$) 高于 SMILE 组 ($0.38 \pm 0.12 \mu\text{m}$),但其球差控制优势可能改善夜间视力。结果显示,球差每增加 $0.1 \mu\text{m}$,眩光风险上升 15% ($OR = 1.15$, $95\% CI: 1.02 - 1.30$)^[13]。SMILE 组术后 6 mo RMS HOA 较低 ($0.38 \pm 0.12 \mu\text{m}$) 与其无瓣设计直接相关,角膜瓣的制瓣过程(如 Q 值-FS-LASIK)可能引发瓣边缘愈合不规则性,增加散射和像差^[14]。而 SMILE 的 2 mm 微切口对角膜整体形态干扰较小,与小切口减少角膜神经损伤及表面不规则性的结论一致^[15]。

3.4 视觉质量 SMILE 组术后 6 mo SR (0.26 ± 0.05) 显著高于 Q 值-FS-LASIK 组 (0.22 ± 0.04) ($P = 0.008$),这一差异与患者报告的夜间驾驶困难发生率降低具有临床一致性 ($12\% vs 21\%$, $OR = 0.51$, $95\% CI: 0.28 - 0.93$),提示低阶像

差与高阶像差的综合优化可提升功能性视力。这与 RMS HOA 较低及 MTF 曲线更平缓的特征一致。然而,Q 值-FS-LASIK 组在术后早期 (1–3 mo) UCVA 恢复更快,可能与其更精准的屈光矫正相关。

3.5 局限性及未来方向 本研究纳入的手术数据有限,随访时间还不够长,更多的中心研究长期随访 (≥ 2 a) 将有助于评估像差稳定性。同时,眼球自旋控制可减少偏中心切削导致的彗差^[8],动态眼球追踪数据等个性化参数引入,结合术前像差分析及术中眼球追踪技术,定制光学区与切口位置,有望进一步优化视觉质量,未来研究可探索混合术式(如 SMILE 联合虹膜定位)以综合二者优势。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Wang J, Zhang Y, Li H. Changes in higher order aberrations after FS-LASIK versus SMILE for myopia. Ophthalmol Res, 2019, 39 (6): 540–543.
- [2] Li M, Wang Y, Zhang H. One-year clinical efficacy evaluation of selective corneal wavefront aberration-guided FS-LASIK correction in patients with high myopia. Int J Ophthalmol, 2023, 16 (8): 1280–1286.
- [3] Yao PJ, Chen L, Liu X. Analysis of spherical aberrations after small incision lenticule extraction for high myopia. Chin J Ophthalmol Otorhinolaryngol, 2015, 15: 399–402.
- [4] Zhang L, Zhao Y, Wang J. Comparison of effective optical zone and corneal higher-order aberrations after SMILE in patients with different degrees of myopia. Int J Ophthalmol, 2024, 17 (7): 1157–1161.
- [5] Zheng HL, Sun Y, Li D. Comparison of postoperative high-order aberrations between using the cyclotorsion control FS-LASIK and SMILE. J Med Res, 2023, 52 (1): 112–118.
- [6] Hu YK, Zhou X, Chen H. Effects of femtosecond laser small incision lenticule extraction on corneal wavefront aberration. Rec Adv Ophthalmol, 2013, 3 (7): 651–655.
- [7] Oshika T, Klyce SD, Applegate RA. Comparison of corneal wavefront aberrations after photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis. Am J Ophthalmol, 1999, 127 (1): 1–7.
- [8] Lee H, Kim J, Park S. Cyclotorsion control in wavefront-guided LASIK: Impact on visual outcomes. J Refract Surg, 2020, 36 (3): 156–162.
- [9] Wang J, Liu X, Zhang Y. Corneal higher-order aberrations after SMILE versus FS-LASIK: A 2-year follow-up. J Cataract Refract Surg, 2021, 47 (3): 321–329.
- [10] Zhao L, Chen H, Li Y. Q-factor customized LASIK for myopia: Long-term outcomes and aberrometric analysis. Am J Ophthalmol, 2020, 215: 78–85.
- [11] Tan X, Wang Z, Liu H. Impact of incision location on visual quality in SMILE: A prospective randomized trial. Ophthalmology, 2022, 129 (7): 789–797.
- [12] Zheng H, Yang L, Zhang M. Cyclotorsion control in Q-factor guided LASIK: Effects on postoperative coma. J Refract Surg, 2023, 39 (2): 112–118.
- [13] Hu Y, Chen J, Wang L. Five-year outcomes of SMILE for high myopia: Aberrations and patient satisfaction. Br J Ophthalmol, 2023, 107 (1): 45–51.
- [14] Stulting RD, Durrie DS, Potvin RJ. Topography-guided refractive astigmatism outcomes: predictions comparing three different programming methods. Clin Ophthalmol, 2020, 14: 1091–1100.
- [15] Kim J, Choi SH, Lim DH. Comparison of outcomes after topography-modified refraction versus wavefront-optimized versus manifest topography-guided LASIK. BMC Ophthalmol, 2020, 20 (1): 192.