

# 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 $\geq 1.0$ ,等效球镜(SE)稳定在 $\pm 0.50$  D 以内。术后 6 mo,SMILE 组总 RMS HOA( $0.38 \pm 0.12 \mu\text{m}$ )显著低于 Q 值-FS-LASIK 组( $0.45 \pm 0.15 \mu\text{m}$ )( $P = 0.012$ );Q 值-FS-LASIK 组球差( $0.52 \pm 0.18 \mu\text{m}$ )较 SMILE 组( $0.35 \pm 0.14 \mu\text{m}$ )更高( $P < 0.001$ ),而 SMILE 组垂直彗差( $0.21 \pm 0.09 \mu\text{m}$ )显著高于 Q 值-FS-LASIK 组( $0.12 \pm 0.07 \mu\text{m}$ )( $P = 0.003$ );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( $0.26 \pm 0.05$ )优于 Q 值-FS-LASIK 组( $0.22 \pm 0.04$ )( $P = 0.008$ )。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  $\geq 1.0$  in both groups, and the spherical equivalent (SE) remained within  $\pm 0.50$  D. The total RMS HOA was significantly lower in the SMILE group ( $0.38 \pm 0.12 \mu\text{m}$ ) than in the Q-value-FS-LASIK group ( $0.45 \pm 0.15 \mu\text{m}$ ;  $P = 0.012$ ). Spherical aberration was higher in the Q-value-FS-LASIK group ( $0.52 \pm 0.18 \mu\text{m}$ ) compared to the SMILE group ( $0.35 \pm 0.14 \mu\text{m}$ ;  $P < 0.001$ ), while vertical coma was significantly greater in the SMILE group ( $0.21 \pm 0.09$  vs  $0.12 \pm 0.07 \mu\text{m}$ ;  $P = 0.003$ ). No significant intergroup differences were observed in horizontal coma or trefoil (all  $P > 0.05$ ). The SR was superior in the SMILE group ( $0.26 \pm 0.05$ ) compared to the

Q-value-FS-LASIK group ( $0.22 \pm 0.04$ ;  $P = 0.008$ ). 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)<sup>[1]</sup>。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<sup>[2]</sup>。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  $\mu\text{m}$ ,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<sup>[3]</sup>。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<sup>[3]</sup>。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<sup>[4]</sup>。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  $\leq -3.00$  D;(2) 角膜中央厚度  $\geq 480$   $\mu\text{m}$ ,预估术后基质床厚度  $\geq 280$   $\mu\text{m}$ ;(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  $\mu\text{m}$ ,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 SWavelength EX500 准分子激光;参数:角膜瓣厚度 110  $\mu\text{m}$ ,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、视物模糊等症状,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  $\pm$  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  $\geq 1.0$ ,SE 稳定在  $\pm 0.50$  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 ( $F_{\text{交互}} = 1.12, P_{\text{交互}} =$

0.341)。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				$\bar{x}\pm s$
指标	SMILE 组( $n=60$ )	Q 值-FS-LASIK 组( $n=60$ )	$P$	
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				$\bar{x}\pm s$
组别	眼数	UCVA(LogMAR)	SE(D)	
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						( $\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$ )
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						$\bar{x}\pm s$
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<sup>[5]</sup>,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<sup>[6]</sup>,但 Q 值-FS-LASIK 组术后 6 mo 球差( $0.52\pm0.18\ \mu\text{m}$ )显著高于 SMILE 组( $0.35\pm0.14\ \mu\text{m}$ )( $P<0.001$ ),与文献中 Q 值优化可降低球差的理论预期有差距<sup>[7]</sup>,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<sup>[8]</sup>。(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<sup>[9]</sup>。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<sup>[3]</sup>。(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<sup>[10]</sup>。

**3.2 彗差** SMILE 组术后 6 mo 垂直彗差( $0.21\pm0.09\ \mu\text{m}$ )显著高于 Q 值-FS-LASIK 组( $0.12\pm0.07\ \mu\text{m}$ )( $P=0.003$ ),与文献报道的 SMILE 术后不对称切口愈合理论一致<sup>[11]</sup>。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( $0.21\pm0.09\ \mu\text{m}$ )的升高与切口位置诱导角膜不对称重塑的假说相符<sup>[3]</sup>。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<sup>[12]</sup>。

**3.3 总 RMS HOA** 尽管 Q 值-FS-LASIK 组术后 6 mo 总 RMS HOA( $0.45\pm0.15\ \mu\text{m}$ )高于 SMILE 组( $0.38\pm0.12\ \mu\text{m}$ ),但其球差控制优势可能改善夜间视力。研究显示,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)<sup>[13]</sup>。SMILE 组术后 6 mo RMS HOA 较低( $0.38\pm0.12\ \mu\text{m}$ )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<sup>[14]</sup>。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<sup>[15]</sup>。

**3.4 视觉质量** SMILE 组术后 6 mo SR( $0.26\pm0.05$ )显著高于 Q 值-FS-LASIK 组( $0.22\pm0.04$ )( $P=0.008$ ),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( $\geq 2\text{ a}$ )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<sup>[8]</sup>,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.