

# 角膜 Q 值调整的优化单眼视 FS-LASIK 矫正近视散光合并老视

杨琳娟, 史强, 刘钊, 张玉, 米生健

引用: 杨琳娟, 史强, 刘钊, 等. 角膜 Q 值调整的优化单眼视 FS-LASIK 矫正近视散光合并老视. 国际眼科杂志, 2026, 26(5): 772-779.

作者单位: (710061) 中国陕西省西安市, 西安交通大学第一附属医院眼科

作者简介: 杨琳娟, 硕士, 副主任护师, 副护士长, 研究方向: 眼科屈光手术、眼科护理管理。

通讯作者: 史强, 在读博士研究生, 主治医师, 研究方向: 眼科屈光手术. shiqiang@xjtu.edu.cn

收稿日期: 2025-08-14 修回日期: 2026-03-27

## 摘要

**目的:** 探讨角膜 Q 值调整的优化单眼视飞秒激光辅助准分子激光原位角膜磨镶术 (FS-LASIK) 矫正近视散光合并老视手术后的安全性、有效性、视觉质量及患者满意度。

**方法:** 前瞻性研究, 纳入行 FS-LASIK 矫正近视散光合并老视患者为研究对象。手术后 1 a 内观察裸眼远、中、近视力 (UDVA、UIVA、UNVA), 屈光度, 角膜高阶像差, Q 值, 客观视觉质量, 近距离立体视锐度, 术后 1 a 采用美国国家眼科研究所-屈光不正质量问卷 (NEI-RQL) 评估手术对患者生活质量的影响及满意度。

**结果:** 本研究纳入患者 36 例 72 眼, 男 12 例 (33%), 女 24 例 (67%), 年龄 40-53 (46.03±3.60) 岁。术后 1 a, 双眼 UDVA≥1.0 者占 97%, UIVA≥0.63 者占 89%, UNVA≥1.0 者占 97%; 主视眼等效球镜度 (SE) 100% 在 ±1.00 D 范围内; 非主视眼 SE 与术前预期矫正相比存在欠矫, 手术前后差值 -0.27±0.34 D ( $P<0.001$ ); 非主视眼角膜前表面 5 mm Q 值较术前负向增加 (-0.33±0.24 vs -0.21±0.09,  $P<0.001$ ); 非主视眼球差、纵向球差均低于术前 (均  $P<0.001$ ); 主视眼与非主视眼手术前后 OSI、MTF 和 SR 无变化 (均  $P>0.05$ ); 术后 1 a 近立体视锐度优于手术前 ( $P=0.007$ ); 患者对手术满意率为 94%, 远、近视力满意率均为 98%, 11% 患者夜间开车需辅助低度数眼镜。

**结论:** Q 值调整的优化单眼视 FS-LASIK 矫正近视散光合并老视安全、有效, 主观、客观视觉质量良好, 患者满意度较高。非主视眼存在欠矫, 后期需对诺莫图进行调整。

**关键词:** Q 值; 近视; 散光; 老视; 优化单眼视; 飞秒激光辅助准分子激光原位角膜磨镶术 (FS-LASIK); 视觉质量

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2026.5.08

## Optimized monovision Q - value - customized FS - LASIK for myopia, astigmatism, and presbyopia

Yang Linjuan, Shi Qiang, Liu Zhao, Zhang Yu, Mi Shengjian

Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, Shaanxi Province, China

**Correspondence to:** Shi Qiang. Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, Shaanxi Province, China. shiqiang@xjtu.edu.cn

Received: 2025-08-14 Accepted: 2026-03-27

## Abstract

• **AIM:** To evaluate safety, efficacy, visual quality, and patient satisfaction after optimized monovision Q-value-customized femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis (FS-LASIK) for myopia, astigmatism, and presbyopia.

• **METHODS:** This prospective study enrolled patients suffering myopia, astigmatism, and presbyopia. At 1 y post operation, uncorrected distance, intermediate and near visual acuity (UDVA, UIVA, UNVA), refraction, corneal higher order aberrations (HOAs), Q value, objective visual quality, and near stereoacuity were evaluated. The impact of surgery on patients' living quality and their satisfaction were evaluated based on National Eye Institute Refractive Error Quality of Life Instrument (NEI RQL) scores at 1-year follow-up.

• **RESULTS:** The study enrolled 36 patients (72 eyes) including 12 males (33%) and 24 females (67%) with an average age of 46.03±3.60 (range 40-53) y. One year postoperatively, 97% of patients achieved binocular UDVA of 1.0 or better, 89% achieved UIVA of 0.63 or better, and 97% achieved UNVA of 1.0 or better. The spherical equivalent refraction (SE) in dominant eye within ±1.00 D was 100%. SE in non-dominant eyes was uncorrected compared with the preoperative target correction, with a mean difference of -0.27±0.34 D before and after surgery ( $P<0.001$ ). while in the non-dominant eyes, the anterior corneal Q-value within the 5 mm zone increased negatively compared with the preoperative value (-0.33±0.24 vs -0.21±0.09,  $P<0.001$ ). In the non-dominant eye, spherical aberration and longitudinal spherical aberration were lower than preoperative values (both  $P<0.001$ ). Besides, there were no significant changes in objective scatter index (OSI), modulation transfer function cutoff

frequency (MTF cut off) and Strehl ratio (SR) in both dominant and non-dominant eyes (all  $P > 0.05$ ), and the near stereoacuity was better after surgery ( $P = 0.007$ ). Additionally, the patient satisfaction rate with the surgery was 94%, the satisfaction rates for UDVA and UNVA were both 98%. The 11% of patients required to wear low-diopter glasses when driving at night.

• **CONCLUSION:** Optimized monovision Q - value - customized FS-LASIK is a safe and effective procedure for correcting myopia, astigmatism, and presbyopia. It provides favorable subjective and objective visual quality and high patient satisfaction. The under correction in non-dominant eyes is observed, indicating the further optimization of nomogram is needed.

• **KEYWORDS:** Q value; myopia; astigmatism; presbyopia; optimized monovision; femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis (FS-LASIK); visual quality

**Citation:** Yang LJ, Shi Q, Liu Z, et al. Optimized monovision Q-value - customized FS - LASIK for myopia, astigmatism, and presbyopia. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2026, 26 (5): 772-779.

## 0 引言

激光角膜屈光手术是目前矫正近视及近视散光的主流手术方式,由于患者对术后视觉质量的要求与日俱增,因此合理选择和设计个性化的手术方式提高患者满意度已成为一个重要课题。老视是指随着年龄增长,眼生理性调节力逐渐下降,出现近距离视物困难、视近不持久等症候<sup>[1-2]</sup>。老视在40岁以上人群中患病率约为85%<sup>[3-4]</sup>。对于40岁以上人群,他们在社会和工作是中流砥柱,正是年富力强的时候,但随着生理性调节力下降,出现老视表现,对生活和工作质量有极大影响。此类人群若有手术摘镜需求,由于晶状体依然透明且存在部分调节功能,多选用激光角膜屈光手术进行矫正。为避免患者在术后摘掉近视眼镜的同时,过早依赖眼镜矫正老视。手术医生应同时考虑处理屈光不正和调节力下降<sup>[2]</sup>。目前激光角膜屈光手术矫正屈光不正伴老视有3种设计方案:(1)双眼近视方案:术后双眼轻度近视状态。(2)单眼视方案:术后单眼视状态,即主视眼为正视状态、非主视眼为轻度近视状态。(3)优化单眼视方案:术后优化单眼视状态,即主视眼正视状态,非主视眼为轻度近视状态,并引入一定程度的负球差<sup>[1]</sup>。本次研究旨在探讨Q值调整的优化单眼视矫正近视散光合并老视的治疗效果、主、客观视觉质量、患者满意度,为矫正近视散光合并老视手术提供选择思路。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 前瞻性研究,纳入2021年6月至2023年6月在西安交通大学第一附属医院眼科屈光手术中心行FS-LASIK矫正近视散光合并老视患者。纳入标准:(1)年龄 $\geq 40$ 岁;(2)所有患术前矫正视力均达到最佳矫正视力( $\geq 1.0$ );(3)近视 $\leq -6.00$  D;(4)散光 $\leq -3.00$  D;(5)预计FS-LASIK术后,中央角膜瓣下基质厚度保留 $>290 \mu\text{m}$ 。排除标准:(1)屈光度数超过适应证范围;(2)妊娠期和哺乳期;(3)严重糖尿病,全身结缔组织疾病及自身免疫性疾病;(4)活动性眼病及眼底病变者;(5)疑似角膜扩张;

(6)既往有角膜屈光手术史或眼部手术史。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,已取得医院伦理委员会批准[伦理号:2020伦审医字第(W2)号],手术前获得参与者知情同意并签署手术知情同意书。

## 1.2 方法

**1.2.1 手术前后检查** 术前检查包括裸眼远视力(uncorrected distance visual acuity, UDVA)、最佳矫正远视力(corrected distance visual acuity, CDVA)、电脑验光、眼压等。裂隙灯显微镜检查眼前节,散瞳后眼底检查。由同一位验光师完成术前验光。附加检查:(1)主视眼检查,用卡洞法、射击测试、指尖测试、WORTH四点灯法这四种方法进行测量,至少有3种测量方法结果一致方能确定主视眼。(2)检查远近眼位、AC/A、调节幅度、负相对调节(negative relative accommodation, NRA)、调节反应(binocular cross-cylinder, BCC)、正相对调节(positive relative accommodation, PRA)等,必要时查调节灵活度。排除存在除年龄相关性调节能力下降以外,有调节参数紊乱,集合不足等双眼视功能异常问题。(3)精确下加光(ADD)检查:最佳矫正视力基础上查BCC、NRA、PRA,  $\text{ADD} = \text{BCC} + 1/2(\text{NRA} + \text{PRA})$ 。(4)单眼交叉耐受试验<sup>[1]</sup>,具体流程见图1。(5)试戴:交叉耐受试验结束后,采用框架眼镜试戴(主视眼为最佳矫正视力屈光度,非主视眼预留0.50-1.50 D近视,参考患者ADD、交叉耐受试验结果)。远距离( $>5$  m),中距离(60 cm),近距离(33 cm)试戴时间各不少于30 min。分别记录双眼远、中、近视力及患者主观感受:有无重影或虚影、清晰度等,必要时调整再次进行试戴。术后检查:术后1、3、6 mo,1 a检查双眼、主视眼、非主视眼UDVA、裸眼中视力(uncorrected intermediate visual acuity, UIVA)、裸眼近视力(uncorrected near visual acuity, UNVA)。术前,术后1 a分别检查断层角膜地形图(sirius),记录角膜前表面5 mm高阶像差的Zernike系数值,包括:总高阶像差(higher order aberration, HOAs),球差(spherical aberration, SA),彗差(coma)、纵向球差(longitudinal spherical aberration, LSA)的均方根值(root means square of high order, RMS)。同时记录角膜前表面5 mm Q值。手术前、后分别应用基于双通道视网膜成像技术的光学质量分析系统(OQAS II)定量分析视网膜成像和眼内散射。包括调制传递函数截止频率(MTF),斯特列尔比(SR)及眼内客观散射指数(OSI)。术前,术后1 a分别查近距离(33 cm)立体视觉(Titmus苍蝇立体图)。术后1 a选用美国国家眼科研究所-屈光不正质量问卷(National Eye Institute Refractive Error Quality of Life, NEI-RQL)对患者手术后视觉质量感受、远、近视力、白天和夜间视力波动情况(有无夜间驾驶困难)、症状(眼睛酸痛或疲劳)、对手术的满意度等方面进行调查分析。

**1.2.2 手术前后用药** 术前3 d使用0.1%妥布霉素滴眼液,0.1%玻璃酸钠滴眼液,每日4次。术后使用0.1%妥布霉素滴眼液7 d,每日4次;0.1%氟米龙滴眼液每日4次,每10 d递减,共40 d;0.1%玻璃酸钠滴眼液酌情使用1-3 mo,每日4次。

**1.2.3 手术设计** 优化单眼视方案,Q值调整模式<sup>[1]</sup>:主视眼预期目标屈光度为0 D,Q值预期调整-0.3;非主视眼预期目标屈光度为-0.50--1.75 D,Q值预期调整-0.4--0.6,最高负值为-1.00。

**1.2.4 手术方法** 同一位医生进行手术,术前4 min滴0.5%盐酸奥布卡因滴眼液3次进行眼结膜囊表面麻醉,手术结束后滴用妥布霉素地塞米松滴眼液1次。全部患者术程顺利。采用FS200飞秒激光制作椭圆形角膜瓣,其大小长轴为8.5-9.0 mm,厚度为110 μm,蒂的方位与散光轴位垂直。采用EX500准分子激光治疗,光学区直径6.0-6.5 mm,激光治疗前均完成虹膜跟踪的注册,结束后用眼用平衡盐液冲洗角膜层间并复位角膜瓣。

统计学分析:采用SPSS23.00对数据进行整理和分析。采用Kolmogorov-Smirnov法检验数据,均符合正态分布。计量资料采用 $\bar{x}\pm s$ 进行描述,双眼术后球镜度、柱镜度、等效球镜度(SE)、角膜高阶像差、Q值、立体视锐度、OSI、MTF和SR等手术前后差异比较采用配对样本t检验,采用双尾检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 一般资料** 本研究纳入患者40例80眼。术后1 a随

访时失访4例8眼。最终完成术后1、3、6、12 mo随访共计36例72眼,其中男12例(33%),女24例(67%),年龄40-53(46.03±3.60)岁。球镜度-3.00--6.00(-4.39±1.32)D,柱镜度0--2.5(-0.59±0.49)D。术前一般资料见表1。所有患者随访期间无感染、角膜上皮愈合不良、偏心切削等并发症发生。

**2.2 术后裸眼视力**

**2.2.1 双眼 UDVA 和 UIVA 及 UNVA** 术后1、3、6、12 mo,双眼 UDVA ≥ 20/20 (1.0)者分别占97%、100%、98%、97%;术后1、3、6、12 mo,双眼 UIVA ≥ J3 (0.63)者分别占84%、94%、86%、89%;术后1、3、6、12 mo,双眼 UNVA 为 J1 (1.0)者分别占97%、88%、90%、97%,见图2-4。

**2.2.2 主视眼和非主视眼 UDVA 与 UIVA 及 UNVA** 术后1 a,主视眼 UDVA ≥ 20/20 (1.0)者占97%, UIVA ≥ J3 (0.63)者占79%;非主视眼 UIVA ≥ J3 (0.63)者占66%, UNVA 为 J1 者(1.0)占91%,见图5。

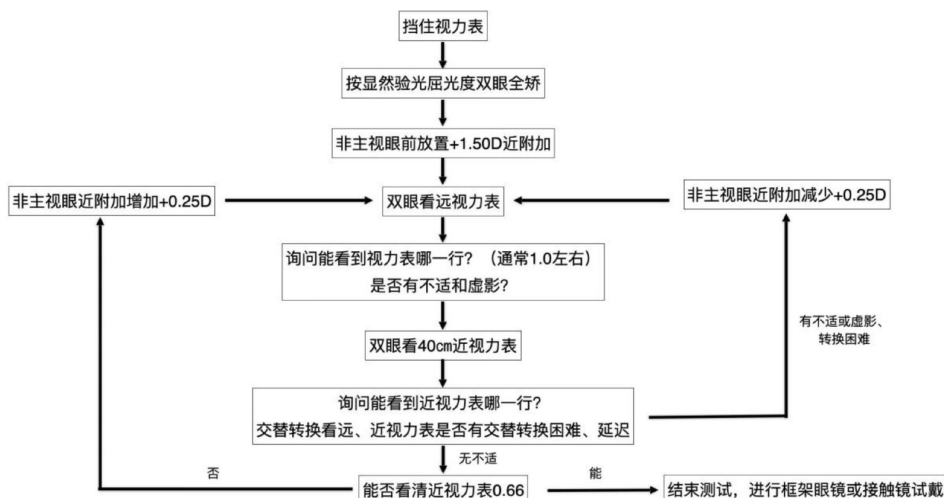


图1 单眼交叉耐受试验流程图。

表1 主视眼与非主视眼一般情况比较

| 眼别   | 眼数 | 球镜度(D)     | 柱镜度(D)     | SE(D)      | 角膜厚度(μm)     | 光学区直径(mm) | Q值(5 mm)   |
|------|----|------------|------------|------------|--------------|-----------|------------|
| 主视眼  | 36 | -3.89±1.26 | -0.57±0.47 | -4.42±1.27 | 536.18±25.16 | 6.45±0.12 | -0.20±0.10 |
| 非主视眼 | 36 | -4.00±1.25 | -0.60±0.52 | -4.35±1.33 | 535.70±25.59 | 6.46±0.10 | -0.21±0.09 |
| t    |    | 0.422      | 1.721      | 0.403      | 0.105        | -0.413    | 0.700      |
| P    |    | 0.683      | 0.091      | 0.691      | 0.920        | 0.673     | 0.500      |

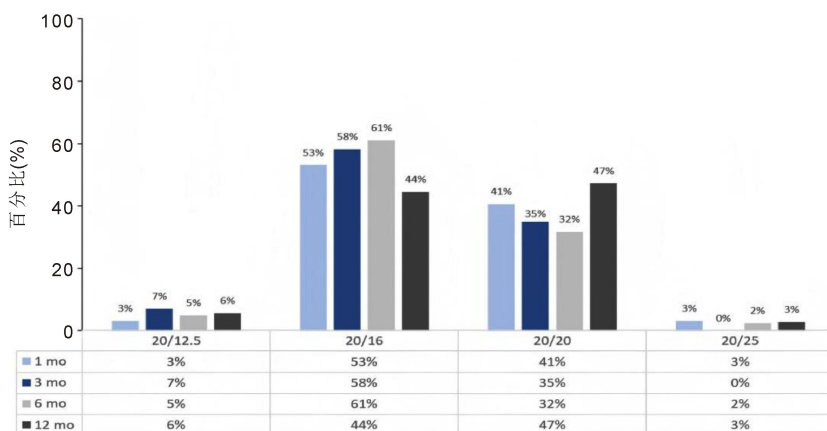


图2 术后1、3、6、12 mo 双眼 UDVA。

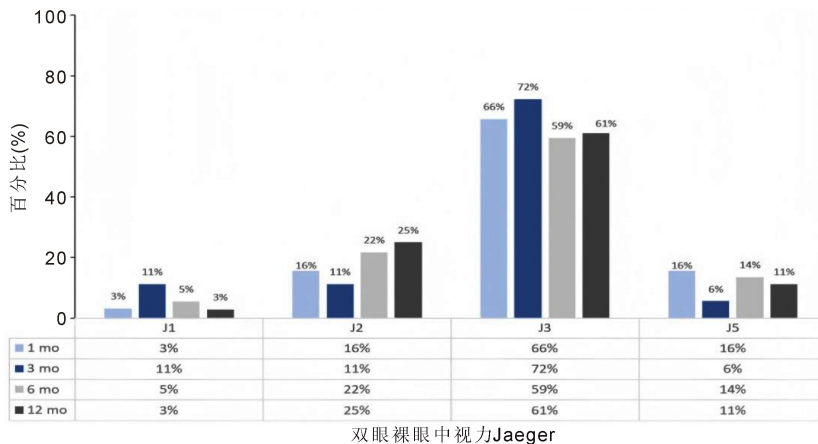


图3 术后1、3、6、12 mo 双眼 UIVA Jaeger 视力:J1=小数视力 1.0,J2=小数视力 0.8,J3=小数视力 0.63,J5=小数视力 0.5。

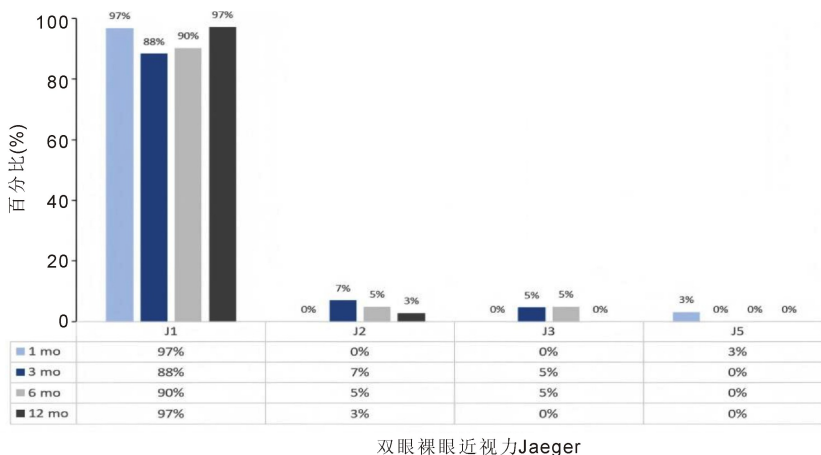


图4 手术后1、3、6、12 mo 双眼 UNVA Jaeger 视力:J1=小数视力 1.0,J2=小数视力 0.8,J3=小数视力 0.63,J5=小数视力 0.5。

**2.3 手术的安全性和有效性** 术后1 a,主视眼有效指数0.95,97%的UDVA与术前CDVA一致,安全指数1.03,75%的CDVA与术前CDVA一致,19%的CDVA比术前CDVA增加1行,见图6A、B;非主视眼安全指数1.04,69%的CDVA与术前CDVA一致,25%的CDVA比术前CDVA增加1-2行,见图7A、B。

**2.4 术后屈光度** 术后1 a,主视眼SE 100%在±1.00 D范围内,预期矫正SE与实际矫正SE高度相关( $R^2 = 0.9734$ ),见图6C、D;手术前后散光情况见图6E,术后不同时间点SE变化见图6F。术后1 a,非主视眼SE为 $-1.30 \pm 0.48$  D,与术前预期矫正 $-0.95 \pm 0.30$  D相比存在欠矫,手术前后差值 $-0.27 \pm 0.34$  D,差异有统计学意义( $P < 0.001$ );术前预期矫正SE与术后实际矫正SE的比较见图7C,术后SE矫正分布见图7D,手术前后散光见图7E,术后不同时间点SE变化见图7F。

**2.5 客观视觉质量**

**2.5.1 手术前后角膜前表面5 mm Q值比较** 术后主视眼Q值较术前正向发展( $P > 0.05$ ),非主视眼Q值较术前负向发展,差异有统计学意义( $P < 0.001$ ),见表2。

**2.5.2 手术前后角膜中心5 mm高阶像差比较** 主视眼、非主视眼HOA、彗差均有增加(均 $P < 0.05$ ),主视眼球差、纵向球差无变化(均 $P > 0.05$ ),非主视眼球差、纵向球差均低于术前(均 $P < 0.001$ ),见表3、4。

表2 主视眼和非主视眼手术前后角膜前表面5 mm Q值变化

| 眼别   | 眼数 | 术前               | 术后1 a            | t     | P      |
|------|----|------------------|------------------|-------|--------|
| 主视眼  | 36 | $-0.20 \pm 0.09$ | $-0.11 \pm 0.22$ | 0.886 | 0.094  |
| 非主视眼 | 36 | $-0.21 \pm 0.09$ | $-0.33 \pm 0.24$ | 2.115 | <0.001 |

表3 主视眼手术前后角膜中心5 mm高阶像差比较

| 时间    | 眼数 | HOA             | 彗差              | 球差              | 纵向球差            |
|-------|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 术前    | 36 | $0.26 \pm 0.09$ | $0.15 \pm 0.08$ | $0.11 \pm 0.05$ | $0.92 \pm 0.38$ |
| 术后1 a | 36 | $0.32 \pm 0.10$ | $0.21 \pm 0.11$ | $0.11 \pm 0.05$ | $0.92 \pm 0.44$ |
| t     |    | 2.116           | 2.331           | 0.573           | 0.565           |
| P     |    | 0.001           | <0.001          | 0.389           | 0.915           |

表4 非主视眼手术前后角膜中心5 mm高阶像差比较

| 时间    | 眼数 | 总高阶像差           | 彗差              | 球差              | 纵向球差            |
|-------|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 术前    | 36 | $0.26 \pm 0.09$ | $0.13 \pm 0.09$ | $0.11 \pm 0.05$ | $0.93 \pm 0.47$ |
| 术后1 a | 36 | $0.33 \pm 0.15$ | $0.19 \pm 0.09$ | $0.07 \pm 0.05$ | $0.50 \pm 0.56$ |
| t     |    | 2.134           | 2.337           | 2.223           | 8.453           |
| P     |    | 0.001           | <0.001          | <0.001          | <0.001          |

**2.5.3 手术前后OSI和MTF及SR比较** 主视眼、非主视眼手术前后OSI、MTF、SR无变化(均 $P > 0.05$ ),见表5、6。

表5 主视眼手术前后 OSI 和 MTF 及 SR 比较

| 时间       | 眼数 | OSI       | MTF        | SR        |
|----------|----|-----------|------------|-----------|
| 术前       | 36 | 0.66±0.33 | 40.63±7.40 | 0.22±0.05 |
| 术后 1 a   | 36 | 0.69±0.36 | 40.53±8.31 | 0.21±0.06 |
| <i>t</i> |    | -0.604    | 0.056      | 1.599     |
| <i>P</i> |    | 0.550     | 0.955      | 0.119     |

表6 非主视眼手术前后 OSI 和 MTF 及 SR 的比较

| 时间       | 眼数 | OSI       | MTF        | SR        |
|----------|----|-----------|------------|-----------|
| 手术前      | 36 | 0.70±0.39 | 38.50±9.64 | 0.19±0.06 |
| 术后 1 a   | 36 | 0.63±0.35 | 40.02±8.10 | 0.20±0.04 |
| <i>t</i> |    | 1.663     | -0.983     | -0.686    |
| <i>P</i> |    | 0.112     | 0.333      | 0.497     |

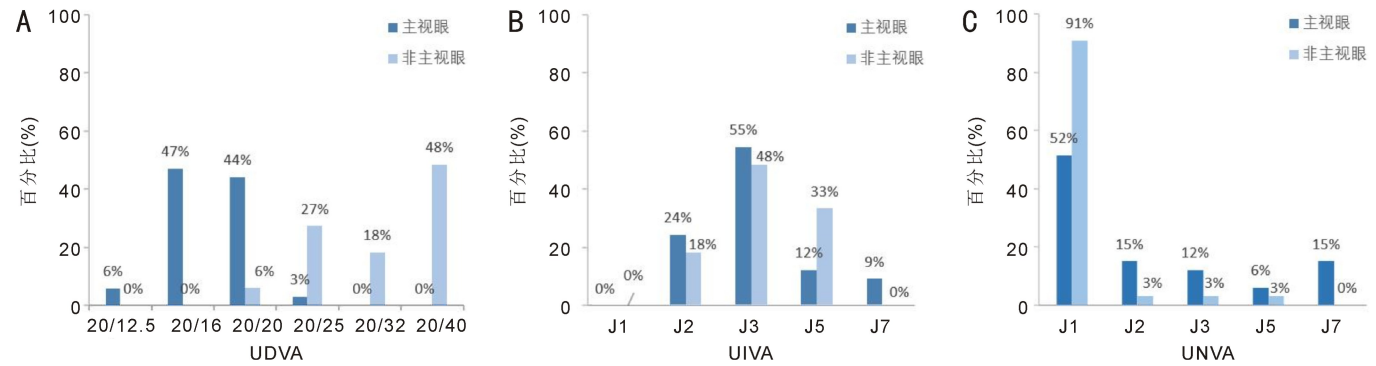


图5 术后 1 a 主视眼和非主视眼 UDVA 与 UIVA 及 UNVA A:UDVA;B:UIVA;C:UNVA。Jaeger 视力:J1=小数视力 1.0,J2=小数视力 0.8,J3=小数视力 0.63,J5=小数视力 0.5。

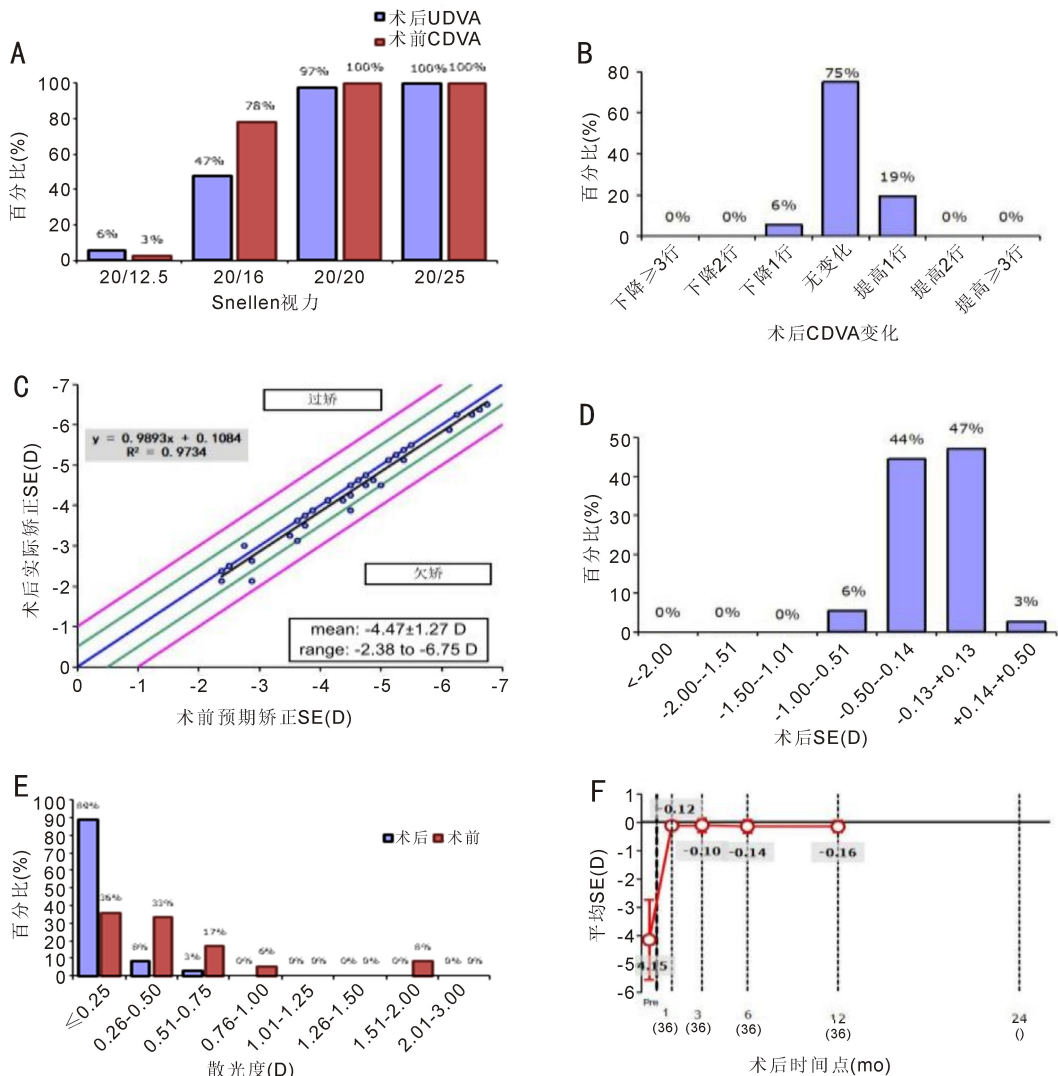


图6 主视眼术前和术后 1 a 内各观察指标变化情况 A:术后 UDVA 与术前 CDVA 的情况;B:术后 CDVA 的变化情况;C:术前预期矫正 SE 与术后实际矫正 SE 的比较;D:术后 SE 矫正的准确性;E:手术前后散光情况;F:术后不同时间点 SE 变化情况。

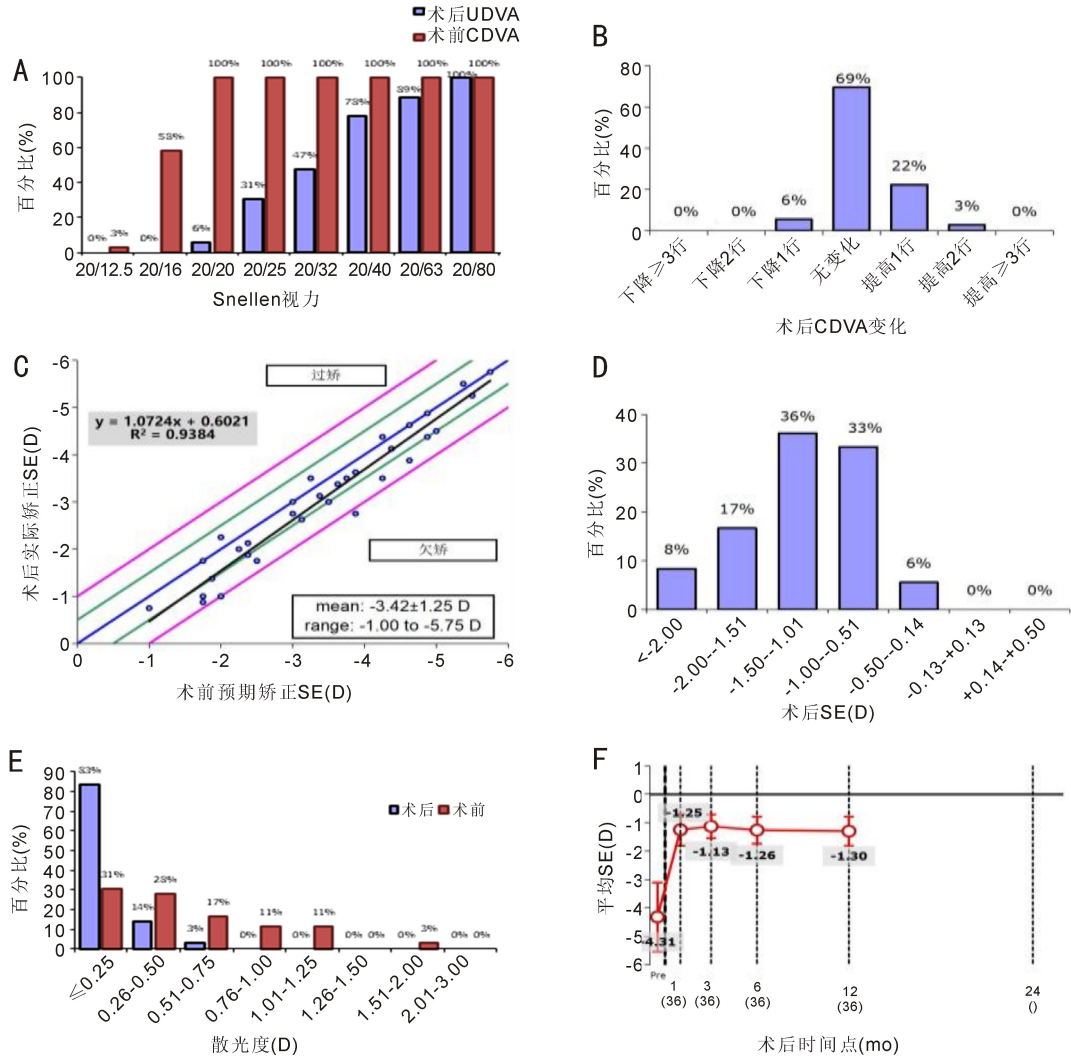


图 7 非主视眼术前后 1 a 内各观察指标的变化情况 A: 术后 UDVA 与术前 CDVA 的情况; B: 术后 CDVA 的变化情况; C: 术前预期矫正 SE 与术后实际矫正 SE 的比较; D: 术后 SE 矫正的准确性; E: 手术前后散光情况; F: 术后不同时间点 SE 变化情况。

**2.6 主观视觉质量** 术后 1 a 共 36 例参与满意度问卷调查,有效问卷 36 份。患者对手术满意率 94%,视觉质量满意率 92%,远视力(驾驶、运动等)满意率 98%,近视力(阅读、手工等)满意率 98%,视疲劳和眼睛酸痛占比 11%,夜间驾驶有困难占比 11%,夜间在明亮灯光周围有光晕且受到困扰占比 13%,见图 8。

**2.7 手术前后立体视锐度变化** 术前近立体视锐度为  $38.21 \pm 10.99$  弧秒,术后 1 a 为  $30.25 \pm 12.38$  弧秒,术后近立体视优于术前 ( $P=0.007$ )。

### 3 讨论

单眼视方案是将主视眼全矫满足看远需求,非主视眼预留一定负球镜度数满足看近需求,理论上视物时通过大脑的模糊抑制可兼顾视远视近,如果非主视眼预留的负球镜过大 ( $>1.5$  D),会导致远视力下降且预留负球镜过大造成的屈光参差会导致重影、立体视功能差、眩晕等<sup>[1,5]</sup>。角膜 Q 值是描述角膜非球面形态的重要参数,表示角膜中央和旁中央曲率不一致的程度<sup>[6-7]</sup>,这种非球面抵消了一定的高阶像差,所以角膜屈光术后也应该保持一定的非球面形态即一定的 Q 值。优化单眼视激光角膜屈光手术将单眼视与 Q 值调整相结合,是临床上矫正近视、近视合

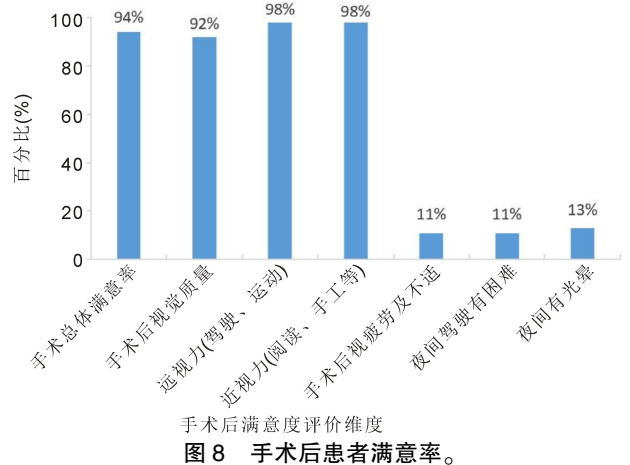


图 8 手术后患者满意率。

并老视的主流手术方式。利用 Q 值调整引入一定负球差,增加中央角膜屈光力,可以一定程度降低非主视眼预留的屈光度,在保证远视力的同时能获得很好的近视力<sup>[4,8-9]</sup>。目前国外有关角膜 Q 值调整优化单眼视方案矫正远视合并老视研究较多<sup>[9-11]</sup>,但国内外对角膜 Q 值调整优化单眼视方案矫正近视、近视散光合并老视的研究相对较少。本研究的创新点在于同时采用 OQAS 和 NEI-RQL

来评估患者的视觉质量,首次将客观、主观视觉质量相结合,系统评估手术对患者生活质量产生的影响及患者满意度。

本研究术后 1 a 双眼 UDVA  $\geq 1.0$  者占 97%, UIVA  $\geq 0.63$  者占 89%, UNVA 为 1.0 者占 97%。表明手术对远、中、近全程视力矫正效果良好,意味着手术在矫正远视力的同时减少了患者对老花镜的依赖<sup>[12-13]</sup>,极大提高患者的生活质量,这是优化单眼视最让人欣喜的结果之一。上述结果与既往优化单眼视激光角膜屈光手术矫正近视合并老视的结论一致,术后 UDVA、UNVA 均有显著提高<sup>[14-16]</sup>。Luger 等<sup>[17]</sup>采用微单眼视方式进行近视合并老视的研究发现,术后 1 a, 93% 患者双眼 UDVA 为 20/20, 71% 患者双眼 UNVA  $\geq J1$ 。本次研究术后 UDVA、UNVA 都优于前者。我们认为手术设计时对主视眼、非主视眼均进行 Q 值调整切削,术后形成非球面的角膜表面,降低球差,增加景深,联合非主视眼预留一部分近视,是术后患者 UIVA、UNVA 良好的主要原因<sup>[18-20]</sup>。目前现有研究中缺少 Q 值调整优化单眼视 FS-LASIK 矫正近视合并老视手术后双眼、主视眼、非主视眼远、中、近全程视力的文献,这也是此次研究的一个创新点。

术后 1 a, 非主视眼预期矫正 SE 与实际矫正相比存在欠矫,手术前后 SE 差值  $-0.27 \pm 0.34$  D。多项研究认为 Q 值调整治疗可能会导致角膜非球面性发生变化引起屈光度欠矫或过矫,当屈光度与术前预期误差较大时,需调整诺莫图(nomogram)<sup>[10,21-22]</sup>。González-Cruces 等<sup>[23]</sup>采用 Q 值调整方案治疗近视及近视散光的研究显示术后预期矫正 SE 与实际矫正一致性较高( $R^2 = 0.9537$ ),他们的研究对象为年轻人( $32.28 \pm 7.62$  岁),仅做 Q 值调整,未做单眼视设计,此为术后 SE 与术前拟矫正 SE 一致性较高的原因。冯伟<sup>[18]</sup>使用优化单眼视手术矫正近视合并老视的患者,术后 1.3 mo SE 与预期矫正 SE 的误差较未结合 Q 值调整的对照组小,有统计学意义。本次研究非主视眼 Q 值调整较多( $-0.4$ -- $-0.6$ ),提示我们在后续工作中需要考虑 Q 值调整后所引起的屈光度欠矫,术前设计时进行诺莫图调整。

角膜 Q 值调整的作用机制与手术有计划控制引入正性球差,甚至在非主视眼引入适量负性球差并加大景深有关<sup>[24-25]</sup>。常规 FS-LASIK 手术在矫正近视及近视散光时,使中央角膜变平,中周部变陡峭,角膜的非球面性发生变化,导致 Q 值增加,引入高阶像差,从而影响视觉质量<sup>[26]</sup>。本研究术后 1 a 主视眼角膜前表面 5 mm Q 值较术前正向发展,非主视眼 Q 值较术前负向发展(术后  $-0.33 \pm 0.24$  vs 术前  $-0.21 \pm 0.09$ ,  $P < 0.001$ )。非主视眼实现了一定程度的负球差,达到增加景深,看近清晰的目的。张瑞钰等<sup>[14]</sup>和林颖等<sup>[15]</sup>发现主视眼术后 Q 值向正向方向发展,非主视眼向负向发展。与我们的结果一致。在术前设计时,将非主视眼角膜 Q 值进行负向调整约  $-0.6$ ,使术后角膜前表面保持一定的非球面性,联合预留  $-1.50$  D 左右负球镜,使患者在近距离视物时,角膜中央部位发挥屈光作用,同时因近反射瞳孔缩小,从而获得最佳近视力。此外,非主视眼术后球差、纵向球差均低于术前(均  $P < 0.001$ )。有研究表明,在近视伴老视的矫正中,纵向球差的引入可提高近

视力<sup>[19,27-28]</sup>。这应是本次研究术后患者近视力较好,满意度较高的原因。

以往研究证实准分子激光屈光性角膜切削术(PRK)、经上皮准分子激光屈光性角膜切削术(TransPRK)、FS-LASIK、飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE)术后早期散射值明显增加,约在术后 6 mo 时散射光值基本恢复至术前水平<sup>[29-30]</sup>。目前缺少关于优化单眼视 FS-LASIK 手术对眼内散射情况影响的临床研究,这也是本研究的创新点之一。我们通过 OQAS 设备观察到手术后 1 a 主视眼和非主视眼的 OSI、MTF 和 SR 与术前比较无变化(均  $P > 0.05$ )。表明该手术对眼内散射的影响较小,手术后眼内散射指标保持了正常水平,视网膜成像质量良好,这对维持手术后良好的视觉质量有重要意义。

立体视锐度是双眼视觉的最高等级,它受到各种生理和病理条件的影响<sup>[31-32]</sup>。有研究发现 LASIK 术后近距离立体视会有明显改善<sup>[33-34]</sup>,归因于角膜屈光手术减少了光学效应和高阶像差,同时周边视野变大。Levinger 等<sup>[5]</sup>对单眼视矫正近视伴老视术后 1 a 的随访显示,术后立体视无变化。认为大于 1 D 的屈光参差会降低立体视敏锐度,小于 2.5 D 的屈光参差并不会影响立体视敏锐度。术后立体视锐度与屈光参差有关,与矫正的屈光不正量无关。本研究术后 1 a 近距离立体视无下降且优于术前( $P = 0.007$ ),推测术后立体视锐度未下降应是主视眼和非主视眼屈光参差量较小的原因( $< 1.5$  D)。

主观视觉质量方面,满意度调查问卷显示 94% 的患者对手术非常满意,92% 的患者反映手术后视觉质量好,无明显视疲劳及不适症状。患者对远、近视力的满意率均为 98%。有 11% 的患者反映夜间驾驶需辅助低度数眼镜。因双眼远视力较好,无再次手术需求。Levinger 等<sup>[5]</sup>的研究中,再次增强手术比例为 10% (4/40 例患者),均为优势眼矫正不足造成。上述结果表明手术对于患者的视觉质量和生活质量产生了积极的影响。有临床研究发现 Q 值调整优化单眼视手术患者的视觉满意度、术后生活质量评分明显优于未结合 Q 值调整的对照组<sup>[13]</sup>。Levinger 等<sup>[5]</sup>研究发现患者对手术后的外表非常满意,因无需再配戴眼镜,满意度为 90.58 分,对远视力、近视力的满意度分别为 83.88、86.45 分,得分明显高于术前( $P < 0.01$ )。患者对手术的总体满意度为 85.22 分,其他研究结果与此接近<sup>[19]</sup>。

综上所述,Q 值调整的优化单眼视 FS-LASIK 矫正近视散光合并老视在客观、主观视觉质量、有效性、安全性方面均具有良好表现。术后患者的远、中、近全程视力均得到有效矫正,角膜形态和眼内散射保持正常水平。患者对手术满意度较高,手术对其生活质量产生了积极影响。对符合条件的近视伴老视患者,此手术方式值得临床推广应用。非主视眼由于角膜 Q 值调整较大所造成的术后欠矫后期需进行诺莫图的调整。同时,我们的研究也存在一些局限性,如样本量较小、无对照组等,因此需要进一步开展大样本、多中心、前瞻性的研究来验证我们的结果,为患者提供更好的治疗体验。

**利益冲突声明:** 本文不存在利益冲突。

**作者贡献声明:** 杨琳娟论文选题与修改, 初稿撰写; 刘钊试验设计, 文献检索, 协助论文修改; 张玉数据分析, 图表制作; 米生健参与手术实施与临床操作; 史强选题指导, 论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

#### 参考文献

- [1] 中国医师协会眼科医师分会屈光手术学组. 中国伴年龄相关性调节不足屈光不正患者激光角膜屈光手术专家共识(2021年). 中华眼科杂志, 2021,57(9):651-657.
- [2] Katz JA, Karpecki PM, Dorca A, et al. Presbyopia - a review of current treatment options and emerging therapies. Clin Ophthalmol, 2021,15:2167-2178.
- [3] Fricke TR, Tahhan N, Resnikoff S, et al. Global prevalence of presbyopia and vision impairment from uncorrected presbyopia. Ophthalmology, 2018,125(10):1492-1499.
- [4] Mercer RN, Milliken CM, Waring GO IV, et al. Future trends in presbyopia correction. J Refract Surg, 2021,37(S1):S28-S34.
- [5] Levinger E, Trivizki O, Pokroy R, et al. Monovision surgery in myopic presbyopes: visual function and satisfaction. Optom Vis Sci, 2013,90(10):1092-1097.
- [6] Zhang KP, Fang X, Zhang Y, et al. Comparison of Q-value-guided laser-assisted *in situ* keratomileusis and standard laser *in situ* keratomileusis for myopia: a meta-analysis. Medicine, 2020,99(45):e21563.
- [7] Koller T, Iseli HP, Hafezi F, et al. Q-factor customized ablation profile for the correction of myopic astigmatism. J Cataract Refract Surg, 2006,32(4):584-589.
- [8] 李霞, 毛凯波, 王敏, 等. Q 值调整联合单眼视 LASIK 治疗近视伴老视的疗效. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2021,23(3):192-198.
- [9] Yin GHW, McAlinden C, Pieri E, et al. Surgical treatment of presbyopia with central presbyopic keratomileusis: One-year results. J Cataract Refract Surg, 2016,42(10):1415-1423.
- [10] Courtin R, Saad A, Grise-Dulac A, et al. Changes to corneal aberrations and vision after monovision in patients with hyperopia after using a customized aspheric ablation profile to increase corneal asphericity (Q-factor). J Refract Surg, 2016,32(11):734-741.
- [11] Avila MY, Vivas PR. Visual outcomes in hyperopic myopic and emmetropic patients with customized aspheric ablation (Q factor) and micro-monovision. Int Ophthalmol, 2021,41(6):2179-2185.
- [12] Becker KA, Jaksche A, Holz FG. PresbyLASIK: behandlungsansatz mit dem excimerlaser. Ophthalmologie, 2006,103(8):667-672.
- [13] Telandro A. Pseudo-accommodative Cornea: a new concept for correction of presbyopia. J Refract Surg, 2004,20(5):S714-717.
- [14] 张瑞钰, 袁翌斐, 张钰, 等. 角膜 Q 值调整的改良单眼视 FS-LASIK 矫正中低度近视眼合并老视的疗效分析. 中华眼科杂志, 2024,60(8):658-664.
- [15] 林颖, 张霞, 袁牧之. 非球面优化单眼视准分子激光手术治疗近视合并老视的短期临床观察. 临床眼科杂志, 2018,26(4):343-346.
- [16] 宁静. 非球面优化单眼视准分子激光手术在近视合并老视患者中的应用效果分析. 中国实用医药, 2021,16(21):55-58.
- [17] Luger MHA, McAlinden C, Buckhurst PJ, et al. Presbyopic LASIK using hybrid bi-aspheric micro-monovision ablation profile for

presbyopic corneal treatments. Am J Ophthalmol, 2015,160(3):493-505.

- [18] 冯伟. 非球面优化单眼视准分子激光手术治疗近视合并老视的应用. 医学食疗与健康, 2023,21(11):20-23.
- [19] Falcon C, Norero Martínez M, Sancho Miralles Y. Laser Blended Vision (vision combinée) pour la correction de la presbytie: résultats à 3ans [Laser Blended Vision for presbyopia: Results after 3 years]. J Fr Ophtalmol, 2015,38(5):431-439.
- [20] Hernández-Lucena J, Alonso-Aliste F, Amián-Cordero J, et al. Outcomes of corneal compound hyperopic astigmatism with presbyopia by zeiss PRESBYOND laser blended vision LASIK using default custom refractive software master target refractions for reduced anisometropia. J Refract Surg, 2024,40(7):e480-e489.
- [21] Gatinel D, Azar DT, Dumas L, et al. Effect of anterior corneal surface asphericity modification on fourth-order zernike spherical aberrations. J Refract Surg, 2014,30(10):708-715.
- [22] Almutairi MN, Alshehri AM, Alhoumaily AY, et al. Meta-analysis: clinical outcomes of laser-assisted *in situ* keratomileusis (LASIK) and photorefractive keratectomy (PRK) in hyperopia. BMC Ophthalmol, 2025,25(1):140.
- [23] González-Cruces T, Villarrubia A, Sánchez Ventosa Á, et al. Comparison between the wavefront-optimized and custom-Q aspheric ablation profiles in myopic eyes with two different Q-targets: a contralateral eye study. J Refract Surg, 2022,38(11):698-707.
- [24] Rahmanian N, Salah I, Rampat R, et al. Clinical effectiveness of laser-induced increased depth of field for the simultaneous correction of hyperopia and presbyopia. J Refract Surg, 2021,37(1):16-24.
- [25] Rouimi F, Ouanezar S, Goemaere I, et al. Presbyopia management with Q-factor modulation without additive monovision: One-year visual and refractive results. J Cataract Refract Surg, 2019,45(8):1074-1083.
- [26] Wu Y, Wang SH, Wang GQ, et al. Corneal asphericity and higher-order aberrations after FS-LASIK and trans-PRK for myopia. J Ophthalmol, 2021,2021:3765046.
- [27] Cantú R, Rosales MA, Tepichín E, et al. Objective quality of vision in presbyopic and non-presbyopic patients after pseudoaccommodative advanced surface ablation. J Refract Surg, 2005,21(5):S603-605.
- [28] Kollbaum PS, Bradley A. Correction of presbyopia: old problems with old (and new) solutions. Clin Exp Optom, 2020,103(1):21-30.
- [29] Xu MY, Yang F, Pazo EE, et al. Effects of corneal epithelial remodeling on corneal asphericity after FS-LASIK and Trans-PRK: a prospective study. Indian J Ophthalmol, 2025,73(1):134-140.
- [30] O'Connor AR, Birch EE, Anderson S, et al. The functional significance of stereopsis. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2010,51(4):2019-2023.
- [31] Costa MF, Moreira SMCF, Hamer RD, et al. Effects of age and optical blur on real depth stereoacuity. Ophthalmic Physiol Opt, 2010,30(5):660-666.
- [32] Ganesh S, Sriganesh SS. Laser refractive correction of presbyopia. Indian J Ophthalmol, 2024,72(9):1236-1243.
- [33] Ali Abdelzaher H, Sidky MK, Awadein A, et al. Aniseikonia and visual functions with optical correction and after refractive surgery in axial anisometropia. Int Ophthalmol, 2022,42(6):1669-1677.
- [34] Jain S, Ou R, Azar DT. Monovision outcomes in presbyopic individuals after refractive surgery 11 Proprietary interest: None. Ophthalmology, 2001,108(8):1430-1433.