

# SMILE 术后视觉质量的研究进展

魏新龙<sup>1,2</sup>, 吕洋<sup>2</sup>, 郑鑫<sup>1,2</sup>, 岳红云<sup>2</sup>

引用: 魏新龙, 吕洋, 郑鑫, 等. SMILE 术后视觉质量的研究进展. 国际眼科杂志 2022; 22(7): 1113-1117

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No.82000926); 甘肃省科技计划项目 (No.21JR1RA180)

作者单位: <sup>1</sup>(730050) 中国甘肃省兰州市, 西北民族大学第九四〇医院临床医学院; <sup>2</sup>(730050) 中国甘肃省兰州市, 中国人民解放军联勤保障部队第九四〇医院眼科

作者简介: 魏新龙, 西北民族大学在读硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 眼视光学。

通讯作者: 岳红云, 毕业于第三军医大学, 博士, 主任医师, 眼科主任, 硕士研究生导师, 研究方向: 神经眼科、视觉心理学及青光眼. yuehy@nwnu.edu.cn

收稿日期: 2021-11-01 修回日期: 2022-05-30

## 摘要

飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术 (SMILE) 是目前最先进的角膜屈光手术之一。与传统角膜屈光手术不同, SMILE 手术实现了微创和无瓣。因此, SMILE 术后视觉质量的评估也具有特点, 目前国内外最新研究证实 SMILE 术后裸眼视力可显著提高且术后屈光状态稳定, 但对 SMILE 术后高阶像差、调制传递函数截止频率 (MTF cut off)、客观散射指数 (OSI) 等客观视觉质量指标及其影响因素的认识却不尽相同。本文针对 SMILE 术后视觉质量及其影响因素进行综述, 为临床提供帮助。

**关键词:** 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术 (SMILE); 视觉质量; 波阵面像差; 调制传递函数截止频率; 客观散射指数; 影响因素

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2022.7.09

## Research progress of visual quality after SMILE

Xin-Long Wei<sup>1,2</sup>, Yang Lyu<sup>2</sup>, Xin Zheng<sup>1,2</sup>, Hong-Yun Yue<sup>2</sup>

**Foundation items:** National Natural Science Foundation of China (No.82000926); Gansu Province Science and Technology Planning Project (No.21JR1RA180)

<sup>1</sup>The 940<sup>th</sup> Hospital Clinical Medical College of Northwest Minzu University, Lanzhou 730050, Gansu Province, China; <sup>2</sup>Department of Ophthalmology, the 940<sup>th</sup> Hospital of Joint Logistics Support Force of PLA, Lanzhou 730050, Gansu Province, China

**Correspondence to:** Hong - Yun Yue. Department of Ophthalmology, the 940<sup>th</sup> Hospital of Joint Logistics Support Force of PLA, Lanzhou 730050, Gansu Province, China. yuehy@nwnu.edu.cn

Received: 2021-11-01 Accepted: 2022-05-30

## Abstract

• Femtosecond laser small incision lenticule extraction (SMILE) is one of the most advanced corneal refractive operations at present. Different from other traditional corneal refractive operations, SMILE achieves minimally invasive and valveless operation. Therefore, the evaluation of postoperative visual quality of SMILE also has its own characteristics, at present, the latest research at home and abroad has confirmed that the naked eye vision can be significantly improved and the refractive status is stable after SMILE. However, there are different understandings of the objective visual quality indexes and their influencing factors, such as higher-order aberration, modulation transfer function cut off (MTF cut off) and objective scatter index (OSI) after SMILE. This paper reviews the postoperative visual quality and its influencing factors after SMILE to provide clinical help.

• **KEYWORDS:** femtosecond laser small incision lenticule extraction (SMILE); visual quality; wavefront aberration; modulation transfer function cut off; objective scatter index; influence factor

**Citation:** Wei XL, Lyu Y, Zheng X, et al. Research progress of visual quality after SMILE. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022; 22(7): 1113-1117

## 0 引言

研究预测到 2050 年全球近视发病率会达到 49.8%<sup>[1]</sup>, 呈逐年递增趋势<sup>[2]</sup>。随着全球新型冠状病毒肺炎疫情的爆发, 室内近距离用眼时间显著增多, 近视的发病率进一步升高<sup>[3]</sup>。角膜屈光手术经过近 30a 的发展, 目前已进入全飞秒时代。与飞秒激光制瓣的准分子激光原位角膜磨镶术 (femtosecond laser *in situ* keratomileusis, FS-LASIK) 相比, 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术 (femtosecond laser small incision lenticule extraction, SMILE) 手术切口更小、无瓣, 伤口恢复更快, 术后无角膜瓣移位等风险。因此 SMILE 手术已成为最受欢迎的术式。目前研究证实 SMILE 术后能获得理想的视力, 但存在患者术后自觉眩光、暗视力下降等不适, 这一系列症状可能与术后高阶像差、调制传递函数截止频率 (modulation transfer function cut off, MTF cut off)、客观散射指数 (objective scatter index, OSI) 等光学质量参数变化有关, 本文针对 SMILE 术后视觉质量的变化及其影响因素进行综述。

## 1 SMILE 术后视觉质量的变化

**1.1 裸眼视力与屈光稳定性** 裸眼视力是评价角膜屈光手术成功与否最根本和最直观的指标。自临床上应用 SMILE 手术矫正屈光不正以来, 大量研究证实了该手术的有效性。姜黎等<sup>[4]</sup>对 SMILE 术后患者 86 例 141 眼进行

1a的随访,发现低、中、高度近视患者 SMILE 术后均获得了良好的视力。这与 Ang 等<sup>[5]</sup> 研究结果相似,其在前瞻性研究中发现,术后 3、12mo 患者 70 例 140 眼裸眼视力均达到 1.0,且长期保持稳定。但在短期视力恢复速度方面有研究发现 SMILE 手术与其他角膜屈光手术相比较慢,景聪荣<sup>[6]</sup> 研究观察比较 SMILE 组和 FS-LASIK 组术后 1d 内视力的变化发现,SMILE 组裸眼视力恢复差于 FS-LASIK 组。这可能与 SMILE 术中光爆破作用产生过多的气泡影响角膜基质透镜的制作和分离引起术后炎症反应相关<sup>[7]</sup>。长期的裸眼视力提高是建立在术后稳定的屈光状态之上的,因此 SMILE 术后的屈光状态也是术后视觉质量变化的重要指标。研究显示 SMILE 术后的屈光状态比其他角膜屈光手术更加稳定。蒋政<sup>[8]</sup> 报道在屈光不正患者 63 例 126 眼中,其中 62 眼行 SMILE 手术,64 眼行 FS-LASIK 手术,结果发现 SMILE 组术后短期及中期等效球镜度 ( $-0.35 \pm 0.17D$ ) 低于 FS-LASIK 组 ( $-0.46 \pm 0.44D$ )。提示 SMILE 术后屈光状态比 FS-LASIK 术后更加稳定。Dishler 等<sup>[9]</sup> 进行的前瞻性临床试验发现屈光不正患者 357 例 375 眼接受 SMILE 术后 1a 内的平均等效球镜度稳定 ( $-0.01 \pm 0.24D$ ),提示 SMILE 手术能有效提高患者裸眼视力,术后屈光状态稳定。

**1.2 波阵面像差 (wavefront aberration)** SMILE 手术能显著改善裸眼视力,但也有患者术后自觉眩光、光晕、暗视力下降等不适。有研究显示角膜屈光手术能引入大量高阶像差,从而引起眩光、对比敏感度下降等一系列视觉质量问题<sup>[10-11]</sup>。王红霞等<sup>[12]</sup> 研究显示 SMILE 手术不可避免地会产生角膜总高阶像差,在 SMILE 和 FS-LASIK 术后高阶像差的对比研究中发现这两种术式术后各项高阶像差指标均较术前升高,但 SMILE 术后升高的幅度更小,且主要以球差为主。造成这一结果的原因,目前研究认为是由于 SMILE 手术切口小,不用制瓣,造成角膜前表面不规则的风险更小,术后炎症反应更轻<sup>[13-14]</sup>。也有研究发现 SMILE 术后引入的高阶像差、彗差高于波前像差引导的准分子激光原位角膜磨镶术 (wavefront-guided laser *in situ* keratomileusis, WG-LASIK), Khalifa 等<sup>[15]</sup> 进行的前瞻性研究中纳入患者 110 眼,其中 51 眼行 WG-LASIK 手术,59 眼行 SMILE 手术,在术后 6mo 的随访中发现,两种术式对屈光不正的有效性是同样值得肯定的,但 SMILE 组却引入了更多的高阶像差、彗差。Jin 等<sup>[16]</sup> 在其研究也得出同样的结果。

**1.3 MTF cut off 和 OSI** 人眼有着许多影响视觉质量的因素,其中以像差、散射、衍射对双眼成像的影响最大。为了更好地认识这三者对视觉质量的影响,人们利用 MTF cut off、OSI 等光学参数对 SMILE 术后视觉质量进行更加客观的评价<sup>[17]</sup>。MTF cut off 反映人眼屈光系统传递不同空间频率的能力,数值越大其传递能力越强,视觉质量越好。OSI 则表示屈光系统对光的散射情况,是通过计算视网膜物像周边的光线量与中心光线量的比重表达<sup>[18]</sup>。OSI 值越大,视网膜成像背景越灰暗,视觉质量越差<sup>[19]</sup>。因此要想研究 SMILE 术后视觉质量的变化,MTF cut off 和 OSI 的检测必不可少。Liu 等<sup>[20]</sup> 前瞻性研究中将近视散光患者 30 例 60 眼分为 SMILE 组和 FS-LASIK 组,检测术后 24h 内视觉质量变化情况,结果发现 SMILE 组患者在术后最初数小时的视力较 FS-LASIK 组稍差,OSI 更大,但

两组患者 MTF cut off 值没有差异,分析可能是由 SMILE 术后角膜层间混浊引起。陈松林等<sup>[21]</sup> 纳入高度近视患者 74 例 148 眼,其中 43 例 86 眼患者行 SMILE 手术,31 例 62 眼患者行 FS-LASIK 手术,分别在术后 1d,1wk 检测 MTF cut off 值和 OSI 值,结果提示术后 1d OSI 值变化两组间差异有显著性,SMILE 组高于 FS-LASIK 组,术后 1wk 两组间无显著差异;两组患者术前、术后 1wk MTF cut off 值比较差异均无统计学意义,表明 SMILE 术后 1d 时眼的散射作用较大,而术后 1wk 时 MTF cut off 值无明显改变。陈祥菲等<sup>[22]</sup> 纳入近视患者 95 例 189 眼,其中 52 例 103 眼行 SMILE 手术,43 例 86 眼行去瓣机械法准分子激光角膜上皮瓣下磨镶术 (epipolis laser *in situ* keratomileusis, Epi-LASIK),术后 1a 随访评估 MTF cut off 和 OSI,结果发现,两组 OSI 差异无统计学意义,SMILE 组 OSI 值 ( $0.936 \pm 0.416$ ) 较术前轻度增加,一般认为 OSI 值  $\leq 1.0$ ,视觉质量良好;SMILE 组 MTF cut off 值 ( $33.050 \pm 7.905c/d$ ) 较 Epi-LASIK 组 ( $32.101 \pm 8.971c/d$ ) 略高但无统计学差异。因此认为 SMILE 术后 OSI 在术后 1a 略有升高但在正常区间内,MTF cut off 值较术前增大,正常视力的成年人 MTF cut off 值  $\geq 30c/d$ ,这也进一步说明较术前相比视觉质量有所提高。Gyldenkerne 等<sup>[23]</sup> 在其研究中得出类似的结论,认为 SMILE 术后的确会引起 OSI 升高,但对于视觉的影响可以忽略,SMILE 术后视觉质量基本良好。SMILE 术后 OSI 值短暂的升高可能与术后角膜层间混浊有关,因此术者在手术过程中应该更加小心,尽量避免引起术后角膜层间混浊,以达最佳视觉效果。

## 2 SMILE 术后视觉质量的影响因素

目前研究认为术前患者的屈光状态、年龄、瞳孔直径、Kappa 角大小,术中角膜帽厚度、切削光区大小、切削中心定位、不透明汽泡层,术后干眼的程度是视觉质量变化的相关因素。

**2.1 屈光状态** 患者屈光不正的程度对术后视觉质量可能产生一定的影响。唐静等<sup>[24]</sup> 报道单纯近视患者 48 例 96 眼行 SMILE 术后,OSI 值在中、高度近视患者中变化有显著性差异,而 MTF cut off 值在低、中、高度近视患者中变化均有显著差异。因此认为屈光程度对 SMILE 术后 MTF cut off 值无明显影响,对 OSI 有一定影响,其中以中高度近视影响显著,但均能达到良好的视觉效果。吴丹等<sup>[25]</sup> 前瞻性研究中将单纯散光患者 65 例 127 眼按散光程度分为 A 组 ( $0 \sim -1.00D$ )、B 组 ( $-1.00 \sim -2.00D$ )、C 组 ( $-2.00 \sim -3.00D$ ),术后定期检测双眼 MTF cut off 值和 OSI 值,结果发现术后 3mo, B 组视觉表现更佳,故认为散光程度并不会对角膜恢复稳定后的患者带来明显的视觉不适。目前还有学者认为屈光程度与术后高阶像差并无相关性。刘逾等<sup>[26]</sup> 研究对高度近视患者 30 例 60 眼行 SMILE 手术,术后对患者的角膜高阶像差等数据进行检测,未发现 SMILE 术后各级像差与屈光状态存在相关性。但丁萱等<sup>[27]</sup> 研究发现低、中、高近视组患者术后各阶像差较术前均有增加,其认为球差与高度近视存在正相关性。因此可以认定高度近视术后可能引入更多的球差。这一研究结论与 Jin 等<sup>[28]</sup>、Donate 等<sup>[14]</sup> 研究结果一致,屈光状态对于角膜高阶像差、MTF cut off 值和 OSI 值均有一定影响,特别是高度近视。临床上高度近视患者行 SMILE 时,术者应更加注重术前设计,减少高阶像差的引入。

**2.2 年龄** 既往认为角膜的高阶像差从幼年到成年早期逐渐降低,后随着年龄的增加逐渐增加,以角膜彗差增加更为显著<sup>[29]</sup>。导致这一结果是由于衰老会破坏角膜和内部高阶像差之间的补偿<sup>[30]</sup>。目前研究发现年龄与 SMILE 术后视觉质量存在相关关系,但具体影响的强弱尚待研究。Zhang 等<sup>[31]</sup>研究发现 40 岁为分界岭,40 岁之前角膜高阶像差随年龄增加而降低,40 岁之后随年龄增加而增加。陈祥菲等<sup>[22]</sup>观察 52 例 103 眼患者行 SMILE 术后 1a 的 MTF cut off 值和 OSI 值,结果证实年龄与 OSI 值呈正相关,与 MTF cut off 值呈负相关。上述研究提示年龄大于 40 岁的患者 SMILE 术后低对比度视力及暗环境下视觉质量可能低于较年轻患者。

**2.3 瞳孔直径和 Kappa 角** 有研究认为瞳孔直径增大能引起术后高阶像差增多,且指出是瞳孔直径变大,周边光线进入增多而引起较大的球差<sup>[32]</sup>,但也有研究认为瞳孔直径大小不能单独影响术后视觉质量<sup>[33]</sup>。宋一<sup>[34]</sup>研究发现瞳孔直径与 SMILE 术后出现的眩光、光晕、星芒等显著相关;瞳孔直径与 OSI 值无相关性。侯湘涛等<sup>[35]</sup>研究比较 4mm 瞳孔直径与 7mm 瞳孔直径 SMILE 术后 MTF cut off 值发现两组之间具有统计学差异,7mm 瞳孔直径比 4mm 瞳孔直径术后视觉质量恢复更慢,可能与大瞳孔引入更多高阶像差有关。此外,Kappa 角的大小也直接影响 SMILE 术后的视觉质量。对于大 Kappa 角的患者在进行角膜屈光手术时需要进行瞳孔定位及调整 Kappa 角,减少高阶像差的引入已成为屈光医生的共识<sup>[36]</sup>。SMILE 手术由于缺乏眼球追踪系统,可能会引起偏中心切削,直接导致视觉质量下降。因此 Kappa 角的大小对术后视觉质量影响甚大。目前研究认为大角度 Kappa 角患者在瞳孔中心像差测量的彗差更高<sup>[37]</sup>。Shao 等<sup>[38]</sup>研究也发现 SMILE 术中调整 Kappa 角的患者术后垂直彗差比未调整者小得多,且在大 Kappa 角患者中术中进行调整者比未调整者术后垂直彗差显著减少。因此,在术前评估时应给予瞳孔直径、Kappa 角足够重视。

**2.4 角膜帽的厚度** 中国眼科专家共识认为 SMILE 手术设计角膜帽的厚度一般为 110~120 $\mu\text{m}$ ,术后的视觉质量最佳<sup>[39]</sup>。穆建华<sup>[40]</sup>在前瞻性研究中设计近视患者 46 例 92 眼的角膜帽厚度分别为 110、120 $\mu\text{m}$ ,结果发现较薄的角膜帽更容易产生不透明气泡层 (opaque bubble layer, OBL),从而导致患者术后早期裸眼视力恢复速度较慢,但远期裸眼视力两者并无差异。Liu 等<sup>[41]</sup>研究中将近视患者 20 例 40 眼,一只眼设计 110 $\mu\text{m}$  厚度角膜帽,另一只眼设计 150 $\mu\text{m}$  厚度角膜帽,结果发现 110 $\mu\text{m}$  眼比 150 $\mu\text{m}$  眼发生 OBL 的概率更大,术后 2、24h 内 110 $\mu\text{m}$  眼的 OSI 值更低,MTF cut off 值更大,而术后晚期角膜高阶像差更高。Güell 等<sup>[42]</sup>研究发现角膜帽厚度为 130、140、150、160 $\mu\text{m}$  的患眼术后 OSI 值组间比较差异无统计学意义。但也有研究发现不同厚度的角膜帽术后 3mo 角膜高阶像差的变化相似<sup>[43]</sup>。综合目前不同角膜帽厚度对术后视觉质量的研究,认为薄角膜帽在制作的过程中更容易产生 OBL,从而影响短期内视力的恢复,长期裸眼视力变化无差异,但对术后客观视觉质量参数的影响却有不同观点,因此角膜帽厚度应该进行个性化设计。

**2.5 切削光学区大小和切削中心的定位** 光学区的大小与角膜高阶像差的引入有相关关系,特别是瞳孔直径与光

学区大小的关系对球差的引入影响明显<sup>[44]</sup>,但不同直径的光学区对 SMILE 术后视觉质量的影响研究甚少。吴艳等<sup>[45]</sup>前瞻性研究中将行 SMILE 手术的患者 26 例 51 眼分为小光学区组 (11 例 21 眼,光学区直径为 6.1~6.4mm) 和大光学区组 (15 例 30 眼,光学区直径为 6.5~6.8mm),术前均进行暗适应控制瞳孔直径 $>5.5\text{mm}$ ,分别检测术前、术后 1mo 各级像差、MTF cut off 值、OSI 值等,结果发现两组各级高阶像差、MTF cut off 值、OSI 值差异均无统计学意义。表明光学区的缩小并不会引起术后高阶像差,对术后视觉质量、眼内散射也无明显影响。李浏洋等<sup>[46]</sup>研究将术前瞳孔直径控制在 5.0mm,比较 6.0mm 直径光学区与 6.5mm 直径光学区术后高阶像差发现,6.5mm 直径组术后 1mo 彗差显著低于 6.0mm 组,以垂直彗差差异显著,余各阶像差无明显差异。故认为大光学区会明显减少高阶像差,但光学区变大,切削厚度也会增厚,这也引入了更多的像差,因此与小光学区像差变化的差别缩小。临床上应结合患者角膜厚度合理选择光学区的大小,将引入的像差减至最小。角膜屈光手术在进行光学区的切削时只要偏离切削中心 0.5mm,术后裸眼视力、最佳矫正视力均会引起明显的下降,并且会引入高阶像差,尤其是彗差,导致视觉不适。SMILE 手术目前没有切削中心定位技术的加持,其为手动的切削定位,术中准确定位切削中心需要术者、光束、患眼注视方向三者的极佳配合<sup>[47]</sup>。视轴角膜反光点 (VACRP)、瞳孔中心 (PC)、角膜顶点 (CV) 在临床上最常作为切削中心。陈敬旺等<sup>[48]</sup>前瞻性研究中将行 SMILE 手术的患者根据切削中心进行分组,VACRP 组 34 例 68 眼,CV 组 36 例 72 眼,观察术后 3mo 两组偏中心切削量、角膜高阶像差的变化情况,结果显示 CV 组切削中心偏移量为  $0.20\pm 0.13\text{mm}$ ,VACRP 组术后切削中心偏移量为  $0.24\pm 0.14\text{mm}$ ,表明以 CV 为中心更为可靠;CV 组术后 3mo 的各级像差指标均小于 VACRP 组,并且 VACRP 组术后的各级像差与中心切削的偏移量相关。Liu 等<sup>[49]</sup>研究发现 CV 组与 PC 组相比术后有更小的偏移量及更高的视觉质量。上述研究提示以 CV 作为 SMILE 切削中心矫正更为精准。

**2.6 OBL** SMILE 手术利用近红外激光脉冲的强聚焦能力在角膜特定部位进行光爆破作用,产生气泡溶解角膜组织<sup>[50]</sup>。明显的 OBL 会影响基质透镜分离,影响术后视力恢复,但稳定后裸眼视力不受影响<sup>[39]</sup>。关于 OBL 是否影响视觉质量目前研究较少,未得到一致结论。郭云林等<sup>[51]</sup>前瞻性研究中将患者 116 例 116 眼按是否产生 OBL 分为 OBL 组 (51 眼) 和对照组 (65 眼),随访两组术前、术后 1、3、6mo 最佳矫正视力、MTF cut off 值、OSI 值、各级像差等视觉质量指标,结果证实 OBL 对术后裸眼视力、MTF cut off 值、OSI 值无明显影响,而全眼高阶像差以 6mo 为时间节点,在此之前两组间变化差异显著,在此之后差异不显著,分析是由于 OBL 的产生导致分离困难,在分离基质透镜时存在透镜残留,引起角膜基质面不规则。总体来说 OBL 会在术后引起全眼高阶像差的增多,但术后 6mo 后基本恢复正常。Kaiserman 等<sup>[52]</sup>研究提示发生硬性 OBL 的眼术后三叶草像差增加。但 Ma 等<sup>[53]</sup>认为 OBL 对长期视觉质量并无影响。OBL 会引起术中角膜基质透镜分离困难,势必会增加术后角膜层间混浊的概率,使得术后短期内各项视觉质量指标异常,但长期恢复后视觉质量良好,因此术者应避免 OBL 的产生。

**2.7 干眼** 泪膜的不稳定会对角膜光学质量产生显著影响。干眼患者泪膜功能受损导致角膜前表面形成不规则的光学面,造成角膜表面的散射和不规则散光,进而引起视物模糊和视力波动<sup>[54]</sup>。屈光手术后多半有干眼发生。Wong等<sup>[55]</sup>研究发现 SMILE 术较其他角膜屈光手术有更好的角膜完整性、更小的角膜神经纤维损伤,术后发生干眼的程度更轻,术后 6mo 后基本恢复到术前水平。眼瞬目后 6s 表现出高阶像差,瞬目后 10s 眼内散射无显著改变<sup>[56]</sup>。在干眼患者中瞬目后高阶像差便开始出现( $2.9 \pm 0.4s$ ),10s 后球差和彗差是正常眼的 2.5 倍<sup>[57]</sup>。Benito 等<sup>[58]</sup>发现干眼患者在瞬目 5s 后眼内散射指数就已经显著升高。这与姚柯婷等<sup>[59]</sup>研究结果一致,泪膜越稳定,视觉质量越好。在术前评估中,干眼的严重程度应作为一项重要指标。对于术后泪膜功能受损的患者,应给予及时的护理指导,以最大程度减少干眼引起的视觉质量下降。

### 3 总结

随着 SMILE 手术的广泛开展,有关术后视觉质量变化和和相关因素的研究会不断深入,特别是术后立体视觉变化和和多因素共同作用的相关研究目前较为少见,这也为进一步的研究提供了参考。完善 SMILE 术后视觉质量相关因素的评估,对于提高手术精确性和患者满意度至关重要。

#### 参考文献

- 1 Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology* 2016; 123(5): 1036-1042
- 2 尚博宇,王帅,院一凡,等.青少年近视危险因素及防控措施现状. *医学综述* 2021; 27(15): 3010-3015
- 3 Hu Y, Zhao F, Ding XH, et al. Rates of myopia development in young Chinese schoolchildren during the outbreak of COVID - 19. *JAMA Ophthalmol* 2021; 139(10): 1115-1121
- 4 姜黎,沈政伟,江文珊,等. SMILE 矫正近视术后一年临床疗效. *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2019; 21(1): 14-22
- 5 Ang M, Farook M, Htoon HM, et al. Randomized clinical trial comparing femtosecond LASIK and small-incision lenticule extraction. *Ophthalmology* 2020; 127(6): 724-730
- 6 景聪荣. SMILE 和 FS-LASIK 术后 24h 内视力变化. *国际眼科杂志* 2019; 19(1): 172-174
- 7 Vestergaard A, Ivarsen AR, Asp S, et al. Small-incision lenticule extraction for moderate to high myopia: Predictability, safety, and patient satisfaction. *J Cataract Refract Surg* 2012; 38(11): 2003-2010
- 8 蒋政. SMILE 和角膜地形图引导的 FS-LASIK 矫正近视散光疗效的对比研究. *湖南师范大学* 2020
- 9 Dishler JG, Slade S, Seifert S, et al. Small - incision lenticule extraction ( SMILE ) for the correction of myopia with astigmatism: outcomes of the United States food and drug administration premarket approval clinical trial. *Ophthalmology* 2020; 127(8): 1020-1034
- 10 范浩博,宋唯琦,唐秀平,等.角膜地形图引导与波前像差优化的 FS-LASIK 术后高阶像差比较的 Meta 分析. *国际眼科杂志* 2021; 21(10): 1757-1763
- 11 McCormick GJ, Porter J, Cox IG, et al. Higher-order aberrations in eyes with irregular corneas after laser refractive surgery. *Ophthalmology* 2005; 112(10): 1699-1709
- 12 王红霞,黄立,胡兆奎. 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. *国际眼科杂志* 2021; 21(7): 1244-1248
- 13 王芸,张晓峰,钱一峰,等. SMILE 与 FS-LASIK 术后角膜上皮修复的对比研究. *中华眼科杂志* 2020; 56(2): 93-102

- 14 Donate D, Thaëron R. SMILE with low energy levels: assessment of early visual and optical quality recovery. *J Refract Surg* 2019; 35(5): 285-293
- 15 Khalifa MA, Ghoneim A, Shafik Shaheen M, et al. Comparative analysis of the clinical outcomes of SMILE and wavefront-guided LASIK in low and moderate myopia. *J Refract Surg* 2017; 33(5): 298-304
- 16 Jin HY, Wan T, Wu F, et al. Comparison of visual results and higher-order aberrations after small incision lenticule extraction ( SMILE ): high myopia vs. mild to moderate myopia. *BMC Ophthalmol* 2017; 17(1): 118
- 17 Xu CC, Xue T, Wang QM, et al. Repeatability and reproducibility of a double - pass optical quality analysis device. *PLoS One* 2015; 10(2): e0117587
- 18 Saad A, Saab M, Gatinel D. Repeatability of measurements with a double-pass system. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36(1): 28-33
- 19 Yu Z, Li J, Song H. Short-time evaluation on intraocular scattering after implantable collamer lens implantation for correcting high myopia. *BMC Ophthalmol* 2020; 20(1): 235
- 20 Liu T, Lu GT, Chen KJ, et al. Visual and optical quality outcomes of SMILE and FS-LASIK for myopia in the very early phase after surgery. *BMC Ophthalmol* 2019; 19(1): 88
- 21 陈松林,郭露,郅莉,等.高度近视患者 SMILE 和 FS-LASIK 术后早期视觉质量的比较. *国际眼科杂志* 2021; 21(5): 890-894
- 22 陈祥菲,赵明,陆燕,等. SMILE 和 Epi-LASIK 术后 1 年患者视觉质量及眼内散射情况——基于双通道视觉质量分析系统(OQAS)的对比研究. *眼科新进展* 2020; 40(6): 554-558
- 23 Gyldenkerne A, Ivarsen A, Hjortdal J. Optical and visual quality after small - incision lenticule extraction. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45(1): 54-61
- 24 唐静,邱乐梅,张小兰,等. FS-SBK/SBK 和 SMILE 矫正近视后散射相关的视觉质量分析. *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2014; 16(7): 421-425
- 25 吴丹,叶巍,陈祥菲,等.低中重度散光微切口角膜基质透镜摘除术术后 3 个月视觉质量研究. *眼科新进展* 2016; 36(9): 849-852
- 26 刘逾,陈海婷,牛广增,等. SMILE 与 ICL V4c 植入术矫正高度近视的临床效果及视觉质量对比分析. *河北医科大学学报* 2021; 42(2): 186-191
- 27 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. *中国眼耳鼻喉科杂志* 2019; 19(6): 388-394
- 28 Jin HY, Wan T, Yu XN, et al. Corneal higher-order aberrations of the anterior surface, posterior surface, and total cornea after small incision lenticule extraction ( SMILE ): high myopia versus mild to moderate myopia. *BMC Ophthalmol* 2018; 18(1): 295
- 29 Jahnke M, Wirbelauer C, Pham DT. Einfluss des alters auf Die optischen aberrationen des menschlichen auges. *Der Ophthalmol* 2006; 103(7): 596-604
- 30 Namba H, Kawasaki R, Sugano A, et al. Age-related changes in ocular aberrations and the Yamagata study (funagata). *Cornea* 2017; 36(Suppl 1): S34-S40
- 31 Zhang FJ, Zhou Z, Yu FL, et al. Comparison of age-related changes between corneal and ocular aberration in young and mid-age myopic patients. *Int J Ophthalmol* 2011; 4(3): 286-292
- 32 Zhou JQ, Xu Y, Li MY, et al. Preoperative refraction, age and optical zone as predictors of optical and visual quality after advanced surface ablation in patients with high myopia: a cross-sectional study. *BMJ Open* 2018; 8(6): e023877
- 33 Schmidt GW, Yoon M, McGwin G, et al. Evaluation of the relationship between ablation diameter, pupil size, and visual function with vision - specific quality - of - life measures after laser *in situ* keratomileusis. *Arch Ophthalmol* 2007; 125(8): 1037-1042

- 34 宋一. 瞳孔直径对 SMILE 手术后早期夜间视觉质量影响的研究. 天津医科大学 2019
- 35 侯湘涛, 吴小影, 杜凯旋, 等. SMILE 术后不同瞳孔直径下视觉质量的比较. 中华眼视光学与视觉科学杂志 2021; 23(5): 336-342
- 36 Ru XY, Li ZR, Li CL, *et al.* Correlation analysis of refractive and visual quality after wavefront-optimized laser *in situ* keratomileusis for 50% and 100% angle kappa compensation. *J Ophthalmol* 2020; 2020: 9873504
- 37 Reinstein DZ, Gobbe M, Archer TJ. Coaxially sighted corneal light reflex versus entrance pupil center centration of moderate to high hyperopic corneal ablations in eyes with small and large angle kappa. *J Refract Surg* 2013; 29(8): 518-525
- 38 Shao T, Wang Y, Ng ALK, *et al.* The effect of intraoperative angle kappa adjustment on higher-order aberrations before and after small incision lenticule extraction. *Cornea* 2020; 39(5): 609-614
- 39 中华医学会眼科学分会眼视光学组. 我国飞秒激光小切口角膜基质透镜取出手术规范专家共识(2016年). 中华眼科杂志 2016; 52(1): 15-21
- 40 穆建华. SMILE 手术设计不同厚度角膜帽的临床对比观察. 国际眼科杂志 2015; 15(7): 1296-1298
- 41 Liu T, Yu T, Liu LN, *et al.* Corneal cap thickness and its effect on visual acuity and corneal biomechanics in eyes undergoing small incision lenticule extraction. *J Ophthalmol* 2018; 2018: 6040873
- 42 Güell JL, Verdaguer P, Mateu-Figueras G, *et al.* SMILE procedures with four different cap thicknesses for the correction of myopia and myopic astigmatism. *J Refract Surg* 2015; 31(9): 580-585
- 43 Liu ML, Zhou YG, Wu XH, *et al.* Comparison of 120- and 140- $\mu$ m SMILE cap thickness results in eyes with thick corneas. *Cornea* 2016; 35(10): 1308-1314
- 44 Alarcón A, Rubiño M, Pérérez-Ocón F, *et al.* Theoretical analysis of the effect of pupil size, initial myopic level, and optical zone on quality of vision after corneal refractive surgery. *J Refract Surg* 2012; 28(12): 901-906
- 45 吴艳, 陆燕, 杨丽萍, 等. 不同直径光学区对飞秒激光小切口角膜基质内透镜取出术(SMILE)后患者早期视觉质量的影响. 眼科新进展 2018; 38(8): 736-741
- 46 李浏洋, 王雁, 李华, 等. 不同光学区 SMILE 术后全眼高阶像差比较. 中华眼视光学与视觉科学杂志 2015; 17(11): 649-653
- 47 余绍林娜, 樊利敏, 刘胜旭, 等. SMILE 与 FS-LASIK 治疗低中度近视的偏心情况. 中华眼视光学与视觉科学杂志 2019; 21(9): 698-702
- 48 陈敬旺, 凌玲, 柯慧敏, 等. 不同切削中心 SMILE 术后光学区偏心及视觉质量的比较. 国际眼科杂志 2021; 21(7): 1170-1174
- 49 Liu ML, Sun Y, Wang DY, *et al.* Decentration of optical zone center and its impact on visual outcomes following SMILE. *Cornea* 2015; 34(4): 392-397
- 50 危平辉. 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术手术设计对手术效果的影响. 中华实验眼科杂志 2018; 36(5): 393-397
- 51 郭云林, 高晓唯, 胡裕坤, 等. SMILE 术中不透明气泡层对术后患者视觉质量的影响. 国际眼科杂志 2017; 17(1): 38-42
- 52 Kaiserman I, Maresky HS, Bahar I, *et al.* Incidence, possible risk factors, and potential effects of an opaque bubble layer created by a femtosecond laser. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34(3): 417-423
- 53 Ma JN, Wang Y, Li LY, *et al.* Corneal thickness, residual stromal thickness, and its effect on opaque bubble layer in small-incision lenticule extraction. *Int Ophthalmol* 2018; 38(5): 2013-2020
- 54 郑晓红, 赵少贞. 泪膜动态改变对视觉质量的影响. 国际眼科纵览 2017; 41(4): 245-250
- 55 Wong AHY, Cheung RKY, Kua WN, *et al.* Dry eyes after SMILE. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2019; 8(5): 397-405
- 56 Koh S, Tung CI, Inoue Y, *et al.* Effects of tear film dynamics on quality of vision. *Br J Ophthalmol* 2018; 102(12): 1615-1620
- 57 Denoyer A, Rabut G, Baudouin C. Tear film aberration dynamics and vision-related quality of life in patients with dry eye disease. *Ophthalmology* 2012; 119(9): 1811-1818
- 58 Benito A, Pérez GM, Mirabet S, *et al.* Objective optical assessment of tear-film quality dynamics in normal and mildly symptomatic dry eyes. *J Cataract Refract Surg* 2011; 37(8): 1481-1487
- 59 姚柯婷, 廖荣丰. 利用双通道视觉质量分析仪探讨角膜屈光手术后泪膜与视觉质量的相关性. 临床眼科杂志 2020; 28(3): 239-243