

SMILE 与 FS-LASIK 术后视网膜脉络膜结构及血流密度变化的研究进展

柴爱¹, 余萍²

引用:柴爱,余萍. SMILE 与 FS-LASIK 术后视网膜脉络膜结构及血流密度变化的研究进展. 国际眼科杂志, 2026, 26(7): 1198-1202.

作者单位:¹(810000) 中国青海省西宁市,青海大学;²(810000) 中国青海省西宁市,青海大学附属医院眼科

作者简介:柴爱,女,在读硕士研究生,住院医师,研究方向:屈光不正。

通讯作者:余萍,女,硕士研究生,主任医师,硕士研究生导师,研究方向:屈光不正、眼表疾病、青光眼、白内障、眼底病。

1156177284@qq.com

收稿日期:2025-11-18 修回日期:2026-05-18

摘要

飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE)与飞秒激光辅助准分子激光原位角膜磨镶术(FS-LASIK)是当前主流的角膜屈光手术方式。随着光学相干断层扫描血管成像(OCTA)技术的出现,其作为一种自动、精确的分析技术,已被广泛应用于视网膜与脉络膜疾病的评估,成为研究角膜屈光手术对于眼后段微循环影响的新工具。文章系统综述了SMILE及FS-LASIK术后眼底微循环变化特征,对比两种术式微循环变化差异,并分析现有研究的局限性,探讨未来研究方向,为评估屈光手术的安全性及个性化手术方式的选择提供理论依据。

关键词:飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE); 飞秒激光辅助准分子激光原位角膜磨镶术(FS-LASIK); 光学相干断层扫描血管成像; 视网膜脉络膜结构; 血流密度

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.7.15

Research progress on changes in retinal and choroidal structure and blood flow density after SMILE and FS-LASIK surgery

Chai Ai¹, Yu Ping²

¹Qinghai University, Xining 810000, Qinghai Province, China;

²Department of Ophthalmology, Qinghai University Affiliated Hospital, Xining 810000, Qinghai Province, China

Correspondence to: Yu Ping. Department of Ophthalmology, Qinghai University Affiliated Hospital, Xining 810000, Qinghai Province, China. 1156177284@qq.com

Received:2025-11-18 Accepted:2026-05-18

Abstract

• Femtosecond laser small-incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis (FS-LASIK) are the mainstream corneal

refractive surgeries at present. With the emergence of optical coherence tomography angiography (OCTA), an automatic and precise analytical technique, it has been widely applied in the evaluation of retinal and choroidal diseases, and has emerged as a novel tool for exploring the impacts of corneal refractive surgery on posterior ocular segment microcirculation. This article systematically reviews the characteristics of fundus microcirculation changes after SMILE and FS-LASIK surgeries, compares the differences in microcirculatory alterations between the two procedures, analyzes the limitations of existing studies, and discusses future research directions. It provides a theoretical basis for evaluating the safety of refractive surgery and selecting individualized surgical approaches.

• **KEYWORDS:** small-incision lenticule extraction (SMILE); femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis (FS-LASIK); optical coherence tomography angiography; retinal choroidal structure; blood flow density

Citation:Chai A, Yu P. Research progress on changes in retinal and choroidal structure and blood flow density after SMILE and FS-LASIK surgery. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2026, 26(7): 1198-1202.

0 引言

近视是全球范围内最常见的屈光不正类型,其患病率逐年上升。据预测,到2050年,全球近视人口将达47亿,其中高度近视患者约9.4亿^[1]。在矫正近视和散光时,角膜屈光手术的安全性、有效性、稳定性等方面效果显著^[2]。既往屈光手术的疗效评估集中在眼前节参数,如视力、屈光度及角膜生物力学特性等。然而,对眼后段微循环的影响尚未阐明。飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE)与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)术中吸引过程中会出现眼压(intraocular pressure, IOP)峰值,使眼压短暂升至65 mmHg以上,导致黄斑和视盘缺血,进而对视神经及视网膜造成损害^[3-4]。因此,SMILE及FS-LASIK术后对视网膜和脉络膜结构及血流密度影响也值得深入探讨。光学相干断层扫描血管成像(optical coherence tomography angiography, OCTA)技术的临床应用,使无创、定量、分层评估眼底微循环参数成为可能。本文旨在综合分析SMILE及FS-LASIK术后眼底微循环的变化特征,比较两种术式的安全性,并深入探讨其潜在机制及临床意义,弥补当前屈光手术微循环领域的不足,为临床实践和未来研究提供参考依据。

1 SMILE 和 FS-LASIK 的原理差异及影响机制

1.1 SMILE 手术原理 使用飞秒激光在角膜基质层内制

作与患者屈光度数相对应的基质透镜,随后通过一个 2-4 mm 微小切口取出透镜。该术式无需制作角膜瓣,最大程度保留了角膜表层及前部基质的完整性,具有角膜损伤更小,生物力学稳定性更高等优点。

1.2 FS-LASIK 手术原理 结合飞秒激光制瓣与准分子激光消融两大技术环节。利用飞秒激光在角膜表面制作带蒂的角膜瓣,随后掀开角膜瓣,暴露下方基质层,采用准分子激光根据预设度数精准切削,最后将角膜瓣复位。该术式角膜瓣制作精准、术后视力恢复快,但可能存在角膜瓣褶皱、瓣下上皮植入等相关并发症。

1.3 影响机制

1.3.1 术中机械性压力 制作角膜瓣或透镜时负压吸引可导致 IOP 短暂升高至 65 mmHg 以上,从而诱发缺血再灌注损伤,导致视网膜神经节细胞凋亡和坏死^[5]。此外,负压吸引引起的玻璃体机械牵拉作用也可对视网膜造成损伤,可能引起视网膜劈裂/脱离、视神经损害、黄斑水肿和黄斑裂孔等并发症^[6]。由于脉络膜血量约占眼球总血量的 2/3,提供视网膜近 85% 的血供^[7],眼压波动会干扰脉络膜血管自我调节。视网膜脉络膜血管内皮细胞存在压力感受器,IOP 骤升时血管收缩,IOP 骤降时血管扩张。SMILE 术式因无需制作角膜瓣,角膜整体刚度较高,术中 IOP 波动较小,术后 IOP 短期波动平缓(误差 < 2 mmHg),长期测量值更接近真实值^[8-9]。SMILE 术后 IOP 较稳定,血管壁承受压力较小,无需频繁调节张力,脉络膜毛细血管层(choriocapillaris, CC)血流密度稳定性较好,不易出现局部灌注不足。相比 FS-LASIK,角膜瓣的制作明显降低了角膜刚度,术后早期“测量 IOP”低于真实值(误差 2-3 mmHg),且角膜瓣愈合过程中可能会出现 IOP 短暂波动。IOP 波动越大,迫使血管反复调节张力以适应压力变化,导致术后早期 CC 血流密度变异系数更高,部分患者会出现短暂灌注下降。

1.3.2 角膜生物力学改变 FS-LASIK 因角膜瓣的制作切断周边的纤维组织,仅保留了生物力学作用有限的角膜瓣蒂所在位置的角膜胶原纤维;其次,准分子激光对基质层的消融会破坏中央区胶原纤维,导致角膜生物力学强度下降,这与切削深度以及角膜瓣的厚度等因素密切相关^[10]。SMILE 制作透镜的位置位于浅基质层,无需增加过渡区,当透镜经小切口取出后,除切口处,周边胶原纤维完好保留,同时还保留了前弹力层与光学区周边的组织连接,从而保持了角膜结构的整体性,减少了对角膜生物力学的影响。魏嘉^[11]研究发现大切削比角膜生物力学稳定性下降更为明显,且术后角膜生物力学恢复所需时间更长。研究表明,相比 SMILE, FS-LASIK 术后 1 d 角膜滞后量(corneal hysteresis, CH)和角膜阻力因子(corneal resistance factor, CRF)下降更显著^[12],这可能与 FS-LASIK 在组织切削过程中,角膜浅基质层减少、角膜胶原纤维被切断、角膜黏性和弹性下降有关。然而也有研究表明^[13],两种术式角膜生物力学变化并无显著差异,但这并不意味着对角膜生物力学的影响相同,因为 CH 和 CRF 两个参数无法代表整个生物力学。这种改变也可能与年龄、中央角膜厚度、IOP 等因素有关。

1.3.3 角膜基底下神经损伤 He 等^[14]通过免疫荧光染色法观察到,角膜神经主干自角膜缘进入基质层后,从周边向中央、深层向浅层逐级分叉发生分支,最终在角膜中央相互交联形成串珠样结构的浅基质神经丛,并分支渗透进入上皮层形成角膜的上皮神经丛。角膜神经分布不均匀,

角膜瓣和切口的大小、消融深度与时间均会影响角膜神经损伤的程度。SMILE 仅需一个 2-4 mm 微小侧切口,完整保留了角膜上方的“角膜神经弓”,大部分中央区域的神经纤维未被切断,神经主干得以保留。而 FS-LASIK 需制作直径约为 8-9 mm、厚度约 100-110 μm 的角膜瓣并掀开,会完全切断角膜瓣带区域外的角膜基地下神经丛,神经纤维被大面积离断,角膜神经损伤范围更大,程度更重^[15-16]。此外,角膜神经损伤越多,角膜知觉减退越明显,FS-LASIK 术后患者会出现角膜知觉减退,可能间接影响视网膜-脉络膜微循环调节功能^[17-18]。李江峰等^[16]研究表明 SMILE 术后早期不同区域的角膜神经密度、分支密度、长度及宽度较 FS-LASIK 更佳,修复速度也更快,较早达到术前水平。而 FS-LASIK 术后因角膜瓣的制作角膜神经修复速度较慢、质量较差,这与 Hou 等^[19]研究结果一致。

1.3.4 炎症反应 角膜富含神经纤维,手术切断角膜神经会引起神经源性炎症,不同的手术方式引起的炎症反应程度不同。FS-LASIK 因切断了基质层神经纤维环,损伤范围广,急性期(24 h-1 wk)炎症反应更明显。角膜神经大范围切断会使角膜上皮及基质细胞释放大量炎症因子,包括白细胞介素-6(interleukin-6, IL-6),白细胞介素-8(interleukin-8, IL-8),肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α),白细胞介素-1 β (Interleukin-1 β , IL-1 β)、血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)等显著升高^[20]。而 SMILE 术后 1 wk 内患者房水中 IL-8 水平未见明显升高,且 IL-6 浓度低于 50%,这可能与无瓣、小切口结构保留原有角膜神经支配有关。此外,因保留了角膜表面的神经丛,诱导角膜凋亡和增生较少,术后患者房水中炎症因子浓度低于 FS-LASIK。然而,SMILE 术后急性期(24 h-1 wk)转化生长因子- β 1(transforming growth factor- β 1, TGF- β 1)水平高于 FS-LASIK,这与两次激光扫描,在消融过程中释放多余能量,激活细胞因子和生长因子释放有关^[20-21]。另有研究指出,SMILE 术后早期可能出现的一过性界面混浊(导致早期角膜光密度测量值暂时高于 FS-LASIK),也可能与特定的炎症或愈合反应有关,这也就解释为何部分患者术后视力恢复节奏不同^[22]。总之,FS-LASIK 因角膜瓣制作神经纤维广泛切断、大面积基质暴露,其术后急性炎症反应整体高于 SMILE。

1.3.5 眼轴及屈光度数 眼轴较短的患者黄斑区视网膜结构相对完整;而眼轴较长者,眼球扩张更明显、前后径延长、视网膜组织受牵拉,脉络膜变薄(尤其黄斑区),视网膜厚度也会减小,从而导致视网膜发生各种退行性变化^[23-24]。手术通过改变角膜曲率矫正屈光不正,使光线重新聚焦在视网膜上,这种改变会打破原有的“用眼平衡”,间接影响眼轴增长及视网膜厚度的变化。研究表明,高度近视患者常伴有脉络膜变薄及血流灌注降低^[25],屈光不正矫正后,这种异常的形觉剥夺刺激被解除,脉络膜厚度、血流状况随之变化。这种改变主要源于形觉剥夺解除后带来的正向调节作用,与术式本身的关联较小,但确是构成术后整体变化的重要组成部分。

2 SMILE 和 FS-LASIK 对视网膜-脉络膜结构的影响

作为主流角膜屈光手术,SMILE 及 FS-LASIK 术后眼后段结构的变化,尤其对于高度近视患者的影响,尚待深入研究。其本身可能存在视网膜脉络膜结构的薄弱环节,手术干预是否加剧这些结构的变化值得关注。

2.1 SMILE 和 FS-LASIK 对视网膜结构的影响 视网膜厚度及视网膜神经纤维层(retinal nerve fiber layer, RNFL)厚度是评价视网膜结构完整性的重要指标。FS-LASIK与SMILE术后视网膜厚度、视盘RNFL厚度呈现出一过性可逆性增厚,其变化源于术中负压吸引引起眼压升高导致视网膜缺血再灌注损伤。Shaaban等^[26]发现FS-LASIK与SMILE术后RNFL厚度会出现一过性增厚,峰值出现在术后1 wk,但在术后3 mo均恢复至术前基线水平。另有研究发现,FS-LASIK术后1 d中心凹及中心凹旁视网膜平均厚度有所增加,1 wk后开始恢复,1 mo内基本恢复至术前水平^[27]。Li等^[28]通过长期随访,发现术后5 a黄斑层厚度、神经节细胞复合体(ganglion cell complex, GCC)和RNFL厚度在两种手术间无显著差异,其变化与术后屈光度及眼底豹纹斑之间并无关联。这表明尽管术后早期存在一过性增厚,但对视网膜结构并不会造成永久性损伤,长期稳定性良好。

2.2 SMILE 和 FS-LASIK 对脉络膜结构的影响 脉络膜是眼内血管最丰富的组织,负责外层视网膜的营养供应。Li等^[29]提出屈光不正矫正后,视网膜成像质量提高,调节刺激减少,眼轴伸展得以抑制,调节负荷减轻。随着睫状肌张力下降及附着于脉络膜的眼球拉伸,脉络膜可能增厚。李星宇^[30]研究发现,高度近视患者脉络膜于FS-LASIK术后1 d增厚且于术后3 mo恢复,与Xu等^[31]观察一致。尽管FS-LASIK负压时间低于SMILE,在术后1 d,1,3 mo以黄斑为中心区域的脉络膜厚度(corneal thickness, CT)、脉络膜血管容积(choroidal vessel volume, CVV)和脉络膜血管指数(choroidal vascularity index, CVI)两组间并无明显差异^[32]。此外, Yang等^[33]通过对SMILE及FS-LASIK术后脉络膜厚度变化的短期观察,发现脉络膜厚度最初增加,随后在多个测量点降至术前水平。其变化与RNFL的一过性增厚机制相似,均源于负压吸引引起脉络膜短暂缺血,负压解除后导致的脉络膜组织一过性水肿。目前屈光手术对于脉络膜结构影响有限,由于脉络膜受年龄、屈光度、血压、昼夜节律等多因素影响,且目前研究随访时间较短,其远期变化规律仍需进一步观察。

2.3 SMILE 和 FS-LASIK 对黄斑区与视盘周围结构的影响 黄斑区是视觉最敏锐的区域,任何手术对其结构的影响均直接关系术后视觉质量。Yalçınkaya等^[34]发现尽管SMILE和FS-LASIK术后黄斑血管密度、黄斑中心凹无血管区(foveal avascular zone, FAZ)大小和视盘通量指数在术后1 d显著高于术前,但在术后7 d所有微血管参数与术前相似。Jiang等^[35]研究表明FS-LASIK术后1 h,黄斑中心凹厚度、中央凹黄斑体积、中央凹旁黄斑厚度等指标均显著下降;术后1 d,这些指标仍较术前显著降低,研究指出这种改变是可逆的。视盘周围区域的血供来源于睫状后短动脉,对IOP变化较为敏感,术中负压吸引导致的IOP升高可能影响该区域的血液供应,提示负压吸引对黄斑区和视盘周围结构的影响具有同步性。然而,两种手术视盘区血管密度均无显著改变,说明短期IOP升高并未对视盘周围血供造成长期不利影响^[36]。Li等^[28]对SMILE和FS-LASIK术后5 a黄斑层厚度进行了综合评估,两组手术组间无显著差异,这与术后短时间内的研究一致。尽管术后早期会造成一过性损伤,但未对黄斑区造成永久性损伤,均能较好地保持黄斑区微结构的稳定性。

3 SMILE 和 FS-LASIK 对视网膜-脉络膜血流密度的影响

负压吸引导致的IOP急剧升高,可能引起视网膜血流

动力学的改变,进而影响视网膜血流密度。

3.1 SMILE 和 FS-LASIK 对视网膜血流密度的影响

SMILE和FS-LASIK术后视网膜血流密度可能出现短暂的、可逆性的变化。多项研究表明,黄斑区6 mm×6 mm或3 mm×3 mm范围浅层、深层视网膜血管密度于术后1 d或1 wk降低,术后1 wk或1 mo恢复^[36-39,44-45]。有研究发现FS-LASIK术后黄斑浅层毛细血管丛(superficial capillary plexus, SCP)血管密度无显著变化,而深层毛细血管丛(deep capillary plexus, DCP)血管密度在术后1 d显著降低,1 wk后开始恢复,1 mo时恢复至基线水平^[27-36,46]。这种变化可能与深层毛细血管丛对缺血更敏感有关。既往研究发现,视网膜血管密度与灌注密度可能在术后1 d下降,1 mo时恢复至术前水平,3 mo保持稳定^[36-37,39]。然而Yalçınkaya等^[34]发现术后1 d,黄斑区血管密度、FAZ面积及视盘血流指数均显著高于术前水平。这种异常增高可能与缺血后的再灌注充血或血管自我调节机制相关,所有微血管参数在术后7 d与术前相比已无显著差异^[34,40]。然而,Cui等^[41]发现术后浅层和深层毛细血管丛中虹膜血管面积密度(vascular area density, VAD)和血管骨架密度(vascular skeleton density, VSD)均下降,相比之下,虹膜血流在术后1 d下降,术后7 d恢复,术后30 d与基线值无差异。SMILE术后虹膜和视网膜血流指数显著低于FS-LASIK组,表明FS-LASIK因负压吸引时间长对视网膜血流影响更大。值得注意的是,不同视网膜层次的血流密度恢复速度可能存在差异。SCP(位于视网膜神经纤维层和内丛状层之间)的血流密度恢复较快,而DCP(位于内丛状层和外丛状层之间)恢复可能相对较慢,这与不同层次毛细血管的解剖结构及调节机制差异有关。长期随访证实,SMILE和FS-LASIK术后视网膜血流密度最终均可恢复至术前水平,尽管视网膜血流密度下降并不会影响视功能恢复,但对于本身存在视网膜血管异常(如青光眼、糖尿病)的患者,选择SMILE更有优势。

3.2 SMILE 和 FS-LASIK 对视网膜脉络膜参数的影响

目前直接比较SMILE与FS-LASIK术后视网膜脉络膜参数变化的研究相对较少,但现有文献为理解两种手术方式的差异及潜在机制提供了一些有价值的见解。李玉等^[42]直接比较了SMILE与FS-LASIK术后浅层视网膜血流密度的变化,发现两组在术后各时间点(1 wk,1,3 mo)的浅层视网膜血流密度、视网膜厚度和视盘旁视网膜神经纤维层厚度均无显著差异,提示两种手术对视网膜微结构的影响相似。然而,其他研究则观察到了一些细微差异:FS-LASIK术后黄斑DCP血流密度下降的程度较SMILE术后更明显,且恢复时间更长,表明FS-LASIK可能引起更显著的早期血流扰动。这种差异可能与FS-LASIK术中负压吸引时间较长,且需要制作角膜瓣,对眼球造成更强的机械刺激有关。另一项研究比较了两种手术后的CVI变化,发现两者术后CVI均无显著改变,说明两种手术对脉络膜血管结构的影响均很小^[34]。目前认为,脉络膜与视网膜术后变化多为手术刺激的生理性应激反应,而非器质性损伤^[31]。SMILE和FS-LASIK对视网膜脉络膜参数的影响见表1。

3.3 SMILE 和 FS-LASIK 对视网膜脉络膜参数影响的机制 SMILE和FS-LASIK对视网膜脉络膜参数影响的机制比较见表2。

表 1 SMILE 和 FS-LASIK 对视网膜脉络膜参数的影响

参数	变化规律	比较结果	结论	参考文献
视网膜厚度及 RNFL	一过性增厚, 术后 1 wk 达高峰, 术后 3 mo 恢复	两组间无差异	无永久性损害, 远期稳定	Shaaban 等 ^[26]
脉络膜厚度	一过性增厚 (缺血后水肿), 术后 3 mo 恢复	两组间无差异	受多种因素影响, 远期变化规律仍需观察	Yang 等 ^[33]
黄斑及视盘结构	一过性改变, 术后 1 wk 至术后 1 mo 恢复	两组间无差异	短期 IOP 升高无长期影响	Li 等 ^[28]
视网膜血流密度	短暂可逆改变, 多数术后 1 mo 恢复	SCP 恢复快, DCP 恢复慢; SMILE 影响小	长期均恢复, 高危患者 SMILE 会优	Chen 等 ^[44] 朱雪英等 ^[45] Fu 等 ^[46]
脉络膜血流密度	术后早期波动	SMILE 稳定性更优	SMILE 变异系数更小	Yang 等 ^[33]

表 2 SMILE 和 FS-LASIK 对视网膜脉络膜参数影响的机制比较

机制	SMILE	FS-LASIK	结果
术中机械性压力	无角膜瓣, IOP 稳定, CC 稳定	角膜瓣降低刚度, IOP 波动大, CC 变异系数高	SMILE 手术负压吸引时间较短, 眼内血流干扰较小, 脉络膜血流灌注稳定性更优
角膜生物力学改变	保留前弹力层及周边胶原纤维, 生物力学影响小	制瓣切断周边纤维及中央基质, CH/CRF 下降显著	SMILE 生物力学稳定性更佳
角膜基底下神经损伤	切口小, 保留角膜神经弓, 修复快	制瓣大面积离断神经, 修复慢, 质量差	SMILE 神经损伤范围小, 知觉恢复快
炎症反应	IL-8 无明显升高, IL-6 低于 50%, 急性炎症轻	炎症因子广泛升高 (IL-6、IL-8、TNF- α 等)	SMILE 急性炎症负荷显著低于 FS-LASIK
眼轴及屈光度数	解除形觉剥夺, 脉络膜血流正向调节	同 SMILE	与术式无关, 主要源于形觉剥夺解除后带来的正向调节

4 临床意义

目前, SMILE 与 FS-LASIK 矫正中高度近视患者的临床疗效显著, 能有效提高患者裸眼视力, 改善屈光状态, 提升患者生活质量, 且对视网膜脉络膜的微循环结构造成的影响可逆^[43]。然而, 对于高度近视、疑似青光眼或伴血管性疾病的特殊患者, 两种手术的细微差异可能更具有临床意义。选择对眼后段血流影响更小的手术方式, 有助于降低术后长期风险, 便于早期发现及处理相关并发症, 为患者提供更安全的治疗选择。

5 小结与展望

SMILE 及 FS-LASIK 作为主流屈光手术, 其眼底安全性已得到初步循证医学支持。现有研究表明, 两种术式中负压吸引对视网膜厚度、RNFL 厚度、浅层及深层视网膜血流密度均未产生有临床意义的显著影响, 两种术式在短期眼底安全性方面未见明显差异。对于特殊人群, 如高度近视、青光眼, 糖尿病等患者, 应选择对眼后段血流影响更小的手术方式。但现有研究具有以下局限性: (1) 样本量少, 随访时间短, 统计效能有限, 难以检出具有临床意义的细微差异。(2) 多数研究为非随机对照设计, 可能存在选择偏倚。(3) OCTA 设备测量参数、算法, 测量部位的不统一, 导致结果难以直接比较, 无法整合分析。未来应建立统一的 OCTA 测量标准和报告规范, 促进研究结果整合分析, 同时结合多模态人工智能分析技术, 开展大规模、长周期、前瞻性、随机对照的研究, 全面评估屈光手术对于眼后段长期影响, 进一步验证两种手术长期安全性与有效性, 最终实现真正的个性化精准手术。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。

作者贡献声明: 柴爱论文选题与修改, 文献检索, 初稿撰写; 余萍选题指导, 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] 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] Shah R. History and results; indications and contraindications of SMILE, compared with LASIK. *Asia Pac J Ophthalmol*, 2019, 8(5): 371-376.
- [3] Hori S, Shimada H, Hattori T, et al. Early onset of Rhegmatogenous retinal detachment after LASIK with femtosecond laser. *Jpn J Ophthalmol*, 2009, 53(1):75-76.
- [4] Nucci C, Tartaglione R, Rombolà L, et al. Neurochemical evidence to implicate elevated glutamate in the mechanisms of high intraocular pressure (IOP)-induced retinal ganglion cell death in rat. *Neuro Toxicology*, 2005, 26(5):935-941.
- [5] Bushley DM, Parmley VC, Paglen P. Visual field defect associated with laser in situ keratomileusis. *Am J Ophthalmol*, 2000, 129(5): 668-671.
- [6] Cho KJ, Kim JH, Park HL, et al. Glial cell response and iNOS expression in the optic nerve head and retina of the rat following acute high IOP ischemia-reperfusion. *Brain Res*, 2011, 1403:67-77.
- [7] Delaey C, van De Voorde J. Regulatory mechanisms in the retinal and choroidal circulation. *Ophthalmic Res*, 2000, 32(6):249-256.
- [8] Chaurasia SS, Luengo Gimeno F, Tan K, et al. In vivo real-time intraocular pressure variations during LASIK flap creation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010, 51(9):4641-4645.

[9] Vetter JM, Holzer MP, Teping C, et al. Intraocular pressure during corneal flap preparation: comparison among four femtosecond lasers in porcine eyes. *J Refract Surg*, 2011,27(6):427-433.

[10] Reinstein DZ, Archer TJ, Randleman JB. Mathematical model to compare the relative tensile strength of the Cornea after PRK, LASIK, and small incision lenticule extraction. *J Refract Surg*, 2013,29(7):454-460.

[11] 魏嘉. SMILE 不同切削比对角膜生物力学影响的临床研究. 宁夏医科大学, 2024.

[12] 包刀知漫, 燕振国. FS-LASIK 与 SMILE 对近视患者术后早期角膜生物力学影响的差异. *国际眼科杂志*, 2026,26(2):221-227.

[13] Agca A, Ozgurhan EB, Demirok A, et al. Comparison of corneal hysteresis and corneal resistance factor after small incision lenticule extraction and femtosecond laser-assisted LASIK: a prospective fellow eye study. *Cont Lens Anterior Eye*, 2014,37(2):77-80.

[14] He JC, Bazan HEP. Neuroanatomy and neurochemistry of mouse Cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016,57(2):664.

[15] Yesilirmak N, Davis Z, Yoo SH. Refractive surgery (SMILE vs. LASIK vs. phakic IOL). *Int Ophthalmol Clin*, 2016,56(3):137-147.

[16] 李江峰, 李慧, 李金键, 等. 高度近视行不同激光角膜屈光术后角膜神经纤维的修复情况比较. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2021, 23(12):9.

[17] Jiang XD, Wang YR, Yuan H, et al. Influences of SMILE and FS-LASIK on corneal sub-basal nerves: a systematic review and network meta-analysis. *J Refract Surg*, 2022,38(4):277-284.

[18] 刘畅. 三种激光角膜屈光术后角膜神经恢复与眼表功能的关系. 天津医科大学, 2022.

[19] Hou CT, Li JF, Li JJ, et al. In vivo confocal microscopy of sub-basal corneal nerves and corneal densitometry after three kinds of refractive procedures for high myopia. *Int Ophthalmol*, 2023, 43(3):925-935.

[20] Janiszewska - Bil D, Grabarek BO, Lyssek - Boroń A, et al. Comparative analysis of corneal wound healing: differential molecular responses in tears following PRK, FS-LASIK, and SMILE procedures. *Biomedicines*, 2024,12(10):2289.

[21] Liu LJ, Cheng WB, Wu D, et al. The differential expression of cytokines and growth factors after SMILE compared with FS-LASIK in rabbits. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020,61(5):55.

[22] 陆志峰, 周佳佳, 陆嘉君, 等. SMILE 与 FS-LASIK 术后角膜光密度的变化研究. *国际眼科杂志*, 2023,23(6):1044-1048.

[23] Kim TY, Lee MW, Baek SK, et al. Comparison of retinal layer thicknesses of highly myopic eyes and normal eyes. *Korean J Ophthalmol*, 2020,34(6):469-477.

[24] Huang Q, Liu LN, Ma PQ, et al. Grading for suction loss in small incision lenticule extraction. *Int Ophthalmol*, 2023,43(2):665-675.

[25] 张逸非, 都婉红, 赵梅生, 等. OCTA 检测高度近视患者视网膜脉络膜厚度及血流变化的研究进展. *国际眼科杂志*, 2023,23(4):597-601.

[26] Shaaban YM, Badran TAF. Evaluation of the retinal nerve fiber layer and ganglion cell layer after laser-assisted in situ keratomileusis, femtosecond-laser in-situ keratomileusis, and small incision lenticule extraction using optical coherence tomography. *Clin Ophthalmol*, 2025, 19:973-984.

[27] Zhang YJ, Shen Q, Jia Y, et al. Clinical outcomes of SMILE and FS-LASIK used to treat myopia: a meta-analysis. *J Refract Surg*, 2016, 32(4):256-265.

[28] Li JY, Qin J, Lv XT, et al. Study of corneal and retinal

thicknesses at five years after FS-LASIK and SMILE for myopia. *BMC Ophthalmol*, 2024,24(1):396.

[29] Li M, Cheng H, Yuan Y, et al. Change in choroidal thickness and the relationship with accommodation following myopic excimer laser surgery. *Eye (Lond)*, 2016,30(7):972-978.

[30] 李星宇. FS-LASIK 对近视患者视网膜及脉络膜血流与厚度的影响研究. 川北医学院, 2023.

[31] Xu ZQ, Gui SF, Huang JL, et al. Effect of femtosecond laser in situ keratomileusis on the choriocapillaris perfusion and choroidal thickness in myopic patients. *Current Eye Research*, 2021, 46(6):878-884.

[32] 粟蕾, 张永焯, 李华. SMILE 与 FS-LASIK 对低中度近视患者眼底结构的差异. *临床医学进展*, 2025(4):3167-3180.

[33] Yang SR, Qian TT, Tang M, et al. Effects of small incision lenticule extraction and femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis on choroidal thickness and blood flow density in patients with myopia. *Exp Ther Med*, 2026,31(2):37.

[34] Yalçınkaya G, Yıldız BK, Çakır İ, et al. Evaluation of peripapillary - macular microvasculature and choroidal vascularity index after refractive surgery. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2022,37:102714.

[35] Jiang Y, Wang ZH, Li Y, et al. Retinal nerve fibre layer thickness change following femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis. *Front Med*, 2021,8:778666.

[36] Zhang Y, Lan JQ, Cao D, et al. Microvascular changes in macula and optic nerve head after femtosecond laser-assisted LASIK: an optical coherence tomography angiography study. *BMC Ophthalmol*, 2020, 20(1):107.

[37] Chen MJ, Dai JH, Gong L. Changes in retinal vasculature and thickness after small incision lenticule extraction with optical coherence tomography angiography. *J Ophthalmol*, 2019,2019:3693140.

[38] Wang P, Hu XJ, Zhu CC, et al. Transient alteration of retinal microvasculature after refractive surgery. *Ophthalmic Res*, 2021,64(1):128-138.

[39] Tan Q, Zhu MY, Du FF, et al. Changes in retinal vessel flow after small incision lenticule extraction. *Comput Math Meth Med*, 2022, 2022:8437066.

[40] 李玉, 张丰菊, 熊瑛. 超高度近视眼行有晶体眼人工晶体植入术前后视网膜和脉络膜厚度及血流参数变化. *解放军医学杂志*, 2023,48(7):809-815.

[41] Cui LP, Xue WW, Yao WB, et al. Quantitative changes in iris and retinal blood flow after femtosecond laser - assisted in situ keratomileusis and small-incision lenticule extraction. *Front Med*, 2022, 9:862195.

[42] 李玉, 杨文利, 张丰菊. OCTA 观察高度近视眼行 SMILE 与 FS-LASIK 后浅层视网膜血流密度的变化. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2019,21(6):401-407.

[43] 周如侠, 冯冬梅, 王洁. 角膜地形图引导的 FS-LASIK 与 SMILE 矫治中高度近视的临床疗效对比. *中国临床医生杂志*, 2025, 53(3):337-340.

[44] Chen Y, Liao H, Sun Y, et al. Short-term changes in the anterior segment and retina after small incision lenticule extraction. *BMC Ophthalmol*, 2020, 20(1):397.

[45] 朱雪英, 程丹, 沈丽君, 等. Smile 术后视网膜血流和神经节复合体的变化. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2024, 26(1):38-44.

[46] Fu C Y, Zheng Y, Zhai C B, et al. Retinal vessel density alteration after fs-lasik for myopia with different axial lengths. *Int J Ophthalmol*, 2025, 18(10):1936-1943.