

SMILE与FS-LASIK对低中度近视患者眼底结构的差异

粟 蕾, 张永烨, 李 华

重庆医科大学附属永川医院眼科, 重庆

收稿日期: 2025年3月27日; 录用日期: 2025年4月22日; 发布日期: 2025年4月28日

摘 要

目的: 采用SS-OCT探讨低中度近视患者行SMILE或FS-LASIK术后眼底微血管结构的差异。方法: 选择行SMILE或FS-LASIK的低中度近视患者; 使用SS-OCT分别于术前, 术后1天、1月、3月测量以黄斑和视盘为中心各区域的CT、CVI、CVV、FAZ。结果: 1) FS-LASIK组负压时间低于SMILE组($P < 0.05$)。2) FAZ组间比较两组术后各随访点无差异。3) 黄斑区组间比较: 以黄斑为中心各区域的CT、CVV、CV两组各随访点均无差异。4) 视盘区组间比较: ① CT: 视盘区FS-LASIK组术后各随访点均低于SMILE组($P < 0.05$); 视盘旁区两组各随访点无差异。② CVV: 视盘区FS-LASIK组术后各随访点均低于SMILE组($P < 0.05$); 视盘旁区两组均无差异。③ CVI: 视盘区及视盘旁区两组术后各随访点均无差异。结论: SMILE和FS-LASIK对低中度近视患者眼底微血管结构是同等安全的。

关键词

扫频源光学相干断层扫描, 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术, 飞秒激光辅助制瓣的准分子激光角膜原位磨镶术, 负压时间

Difference of Fundus Structure between SMILE and FS-LASIK in Patients with Low to Moderate Myopia

Lei Su, Yongye Zhang, Hua Li

Department of Ophthalmology, The Affiliated Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: Mar. 27th, 2025; accepted: Apr. 22nd, 2025; published: Apr. 28th, 2025

文章引用: 粟蕾, 张永烨, 李华. SMILE 与 FS-LASIK 对低中度近视患者眼底结构的差异[J]. 临床医学进展, 2025, 15(4): 3167-3180. DOI: 10.12677/acm.2025.1541284

Abstract

Objective: To investigate the difference of fundus microvascular structure in patients with low to moderate myopia after SMILE or FS-LASIK by SS-OCT. **Methods:** Patients with low to moderate myopia who underwent SMILE or FS-LASIK were selected. SS-OCT was used to measure CT, CVI, CVV and FAZ in each area centered on macula and optic disc before surgery, 1 day, 1 month and 3 months after surgery, respectively. **Results:** 1) The negative pressure time of FS-LASIK group was lower than that of SMILE group ($P < 0.05$). 2) Comparison between FAZ groups showed no difference in follow-up points between the two groups. 3) Comparison between groups in macular area: There were no differences in CT, CVV and CV at each follow-up point in each area centered on macular area. 4) Comparison between the groups: ① The number of follow-up points in CT: FS-LASIK group was lower than that in SMILE group ($P < 0.05$); There was no difference between the two groups at each follow-up point. ② CVV: all follow-up points in FS-LASIK group were lower than those in SMILE group ($P < 0.05$). There was no difference in the paratopic area between the two groups. ③ CVI: There was no difference in follow-up points between the two groups in the optic disc area and the paratopic disc area. **Conclusion:** SMILE and FS-LASIK are equally safe for fundus microvascular structure in patients with low to moderate myopia.

Keywords

Swept-Source Coherence Tomography, SMILE, FS-LASIK, Suction Time

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近视是一种具有多因素病因的复杂疾病，有研究表明近视患者的视网膜厚度[1]和血流密度相较于正视眼群体呈现下降趋势，并且和眼轴及屈光度呈明显的正相关，而脉络膜作为视网膜外侧最主要的血液供应结构，近视度数越高，眼轴越长，脉络膜厚度也显著下降，与眼轴呈明显负相关[2]。同样，未矫正的屈光不正或近视是全球视力障碍的最常见原因[3]；目前屈光手术认为是主要的视力矫正手术，随着飞秒技术的出现更加地促进角膜屈光手术的发展[4]。在一项豚鼠近视动物模型实验[5]中，去掉高屈光透镜后脉络膜厚度和脉络膜血流密度均有升高，表明近视程度的加深和改变与脉络膜厚度相关。因此我们需要更加关注屈光手术术后眼底视网膜、脉络膜血流和结构的改变。

FS-LASIK/SMILE 已成为越来越多进行屈光手术的外科医生的首选手术，长期随访分析表明，SMILE/FS-LASIK 对近视和散光矫正都是安全且同样有效的[6]；Cheng 等[7]在动物模型中，FS-LASIK/SMILE 术中负压吸引，会出现眼内压升高，可能导致黄斑和视乳头缺血，致光感受器和神经节细胞损伤。但在临床研究中，有研究表面，SMILE/FS-LASIK 术后黄斑和视乳头周围的微血管存在短暂的改变，而脉络膜血管指数不受这些屈光手术的显著影响[8]。也有研究发现近视患者 FS-LASIK 后脉络膜毛细血管密度(CCD)降低而脉络膜厚度(CT)升高[9]。对于近视患者 SMILE 术后视网膜、脉络膜的结构和血流存在短期影响，黄斑区视网膜厚度、GCIPL 厚度、脉络膜厚度相较于术前显著改变[10]。

综上所述，尽管现有研究为我们提供了一些关于负压时间对眼底影响的见解，但仍需要更多的人体研究来全面评估其在临床实践中的长期效果和安全性；比如在人类受试者中进行更多的长期随访研究，

评估不同屈光手术方式的负压时间对眼底结果和功能的影响。传统检查脉络膜的方法具有有创性,且很难实现对脉络膜血流的真实成像,更难以定量发现脉络膜血流的细微变化。光学相干断层血管造影(OCTA)是一种新的、无创的技术,它可以在不需要注射造影剂的情况下对视网膜和脉络膜的血流进行检测和详细评估[11];而SS-OCT的扫描光源波长长,穿透性强,轴向分辨率高;不仅可以提供眼后段结构更深的探测深度和更快的图像采集速度,并且具有更高的信噪比和更强的灵敏度,能够更好地消除运动伪影以及实现脉络膜血管系统可视化[12]。

本研究选择行FS-LASIK或SMILE的低中度近视患者为研究对象,利用SS-OCT检测术前、术后脉络膜结构和血流状态,探讨低中度近视患者进行不同屈光手术中负压时间对脉络膜结构和血流的改变是否有差异。

2. 对象与方法

2.1. 研究对象

本研究为前瞻性临床研究。选择在2022年11月~2023年6月就诊于重庆医科大学附属永川医院诊断为中低度近视且行SMILE或FS-LASIK的患者,所有患者均被告知研究内容并同意将手术数据用于此研究。本研究经伦理委员会批准,并全程遵循《赫尔辛基宣言》,所有患者签署手术同意书。术前所有患者都进行了详细的眼科检查,包括裸眼视力、最佳视力、裂隙灯检查、瞳孔大小、眼压、角膜地形图、间接眼底镜等。

纳入标准:① 年龄18~30周岁;② 近视度数:睫状肌麻痹后验光的屈光度数 ≤ -6.00 DS,散光 ≤ -4.00 DC,最佳矫正视力 ≥ 0.8 (国际标准对数视力表);③ 眼压范围:11.0 mmHg $<$ IOP $<$ 21.00 mmHg;④ 屈光状态稳定:两年内术眼屈光度数改变不超过1.00 D;⑤ 经眼底镜和OCT检查,眼底未见明显异常。⑥ 术前软性角膜接触镜停戴时间大于2周,硬性角膜接触镜大于1月;⑦ 自愿接受角膜屈光手术治疗。

排除标准:① 患有白内障、青光眼、玻璃体疾病、眼底病变等除屈光不正外其他眼部疾病的患者;② 眼部有活动性炎症的患者;③ 患有全身免疫性疾病或结缔组织疾病;④ 近1个月内使用扩血管药物等对检查结果有影响的患者;⑤ 固视不佳或配合度低的患者;⑥ 具有眼部手术史和外伤史的患者。

2.2. 手术技术

1) 药物选择:术前:使用0.5%左氧氟沙星滴眼液(日本参天)术眼点12次。麻醉:使用0.4%盐酸奥布卡因滴眼液(日本参天)对术眼进行表面麻醉。术后用药:① 0.5%左氧氟沙星滴眼液(日本参天),每日4次点术眼,持续至术后2周;② 妥布霉素地塞米松滴眼液(北京诺华药业)每日4次点术眼,术后第4天更换为氯替泼诺滴眼液(博士伦)每日3次点术眼,每周递减1次,至术后1月停药;③ 酒石酸溴莫尼定滴眼液(汇恩兰德)每日2次点术眼,术后第2周停药;④ 小牛血去蛋白眼用凝胶(兴齐药业)每日4次,术后2周停药;⑤ 0.1%玻璃酸钠滴眼液(德国EUSAN)每日4次点术眼,使用3~6个月后停药。

2) 飞秒激光系统:所有的手术都是由同一经验丰富的眼科医生团队使用频率为500 kHz,脉冲能量为165 nJ的VisuMax飞秒激光系统(德国Carl Zeiss公司)完成。SMILE手术:光学区设置为6.5 mm,散光过渡区设置为0.5 mm,角膜帽的直径设置为7.5 mm,帽厚度均设置在110 μ m至120 μ m之间。飞秒激光扫描先由外向内切削透镜的后表面并进行透镜边切,再由内向外出切削微透镜的前表面,最后在120°位置做一个2.5 mm的边切口。FS-LASIK手术:设置角膜瓣直径8.1 mm,角膜瓣厚度为100~110 μ m,角膜瓣蒂位置位于角膜12:00位。制作角膜瓣制作并掀起,采用准分子激光机设定切削区直径为6.5~7.5 mm,进行激光切削。

2.3. SS-OCT 眼底检查

本研究采用扫频源光学相干断层扫描成像技术,扫描波长为 1050 nm,1060 nm,速度为 100,000~200,000 A-scan/秒,轴向分辨率为 1.95~2.6 mm,光学轴向分辨率为 6.3~8 μm 。在瞳孔直径 2.5 mm 的条件下即可成像。本项研究使用 SS-OCT (VG200S)对术眼进行图像采集。受试者接受上述检查时不需要散瞳,保持室内环境光明暗适中,由同一位技术熟练的医师使用机器对患者术眼进行扫描,分别进行以黄斑和视盘为中心的检查。要求受试者于图像采集过程中保持良好固视,以图像信号评分 > 7 分为采集成功标准。检查时间分别为:术前、术后 1 天、术后 1 个月、术后 3 个月。

2.4. 图像处理 1-Deep Layer™ 人工智能

图像分析均采用 SS-OCT 自带的 Deep Layer™ 人工智能分层算法。黄斑区均通过自带的内置绘图软件将以黄斑为中心周围 3 mm $\times$ 3 mm 范围的视网膜以 ETDRS(Early treatment diabetic retinopathy study)分区,划分为黄斑中心区($d=0\sim1$ mm)、黄斑区($d=0\sim3$ mm)、黄斑旁中心凹区($d=1\sim3$ mm);以视乳头为圆心,划分为由视盘中心区($d=0\sim1$ mm)、视盘区($d=1\sim3$ mm)以及视盘旁区($d=3\sim6$ mm)。(s)代表所区域的平均值。其中视盘中心区的脉络膜厚度及大中血管值不纳入数据分析。黄斑中心凹无血管区(Foveal avascular zone, FAZ),由 AI 智能识别量化分析得出;读取 FAZ 的面积(Area)、周长(Perim)、类圆指数(CI)、中心凹血管密度(PD)的各数值。

2.5. 统计方法

采用 SPSS 26.0 统计软件进行数据整理和分析。计量资料若符合正态分布,采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间采用两独立样本 t 检验,多时间点比较采用两因素重复测量方差分析,先进行莫奇来球形度检验,若满足球形检验,则采用非校正法结果;若不满足球形检验,则采用 Greenhouse-Geisser 校正结果,两组组间比较采用 Bonferroni 检验。计数资料采用频数(百分比)表示,组间比较采用卡方检验。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义(见图 1~3)。

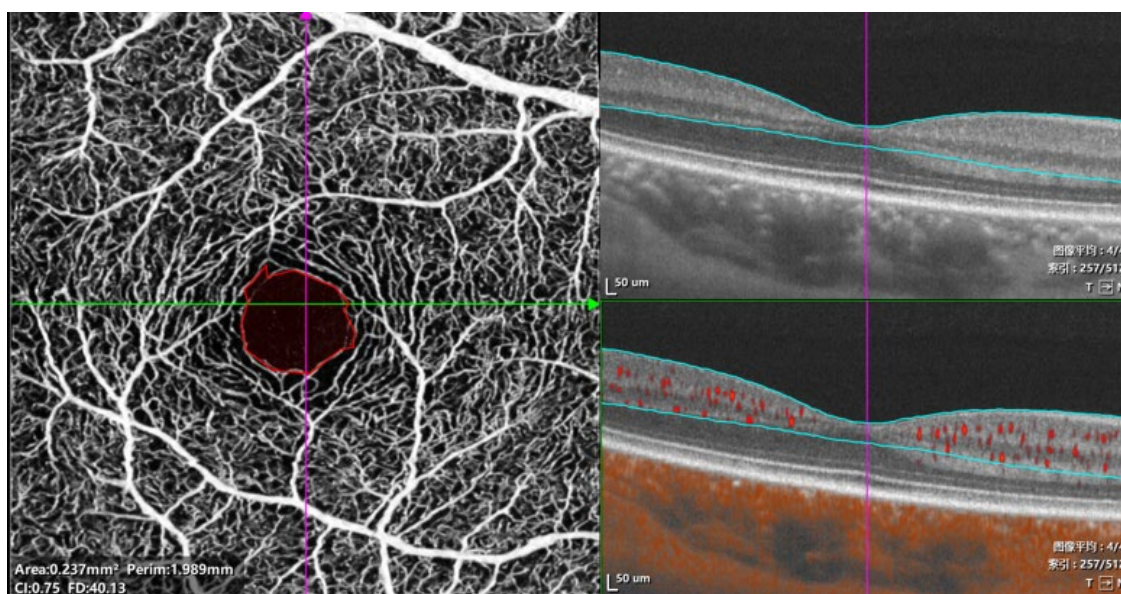


Figure 1. The Area, Perim, CI and PD of angio 3 mm $\times$ 3 mm (512 $\times$ 512) mode were automatically identified and calculated by artificial intelligence

图 1. Angio 3 mm $\times$ 3 mm (512 $\times$ 512)模式的 Area、Perim、CI、PD 由人工智能自动识别测算得

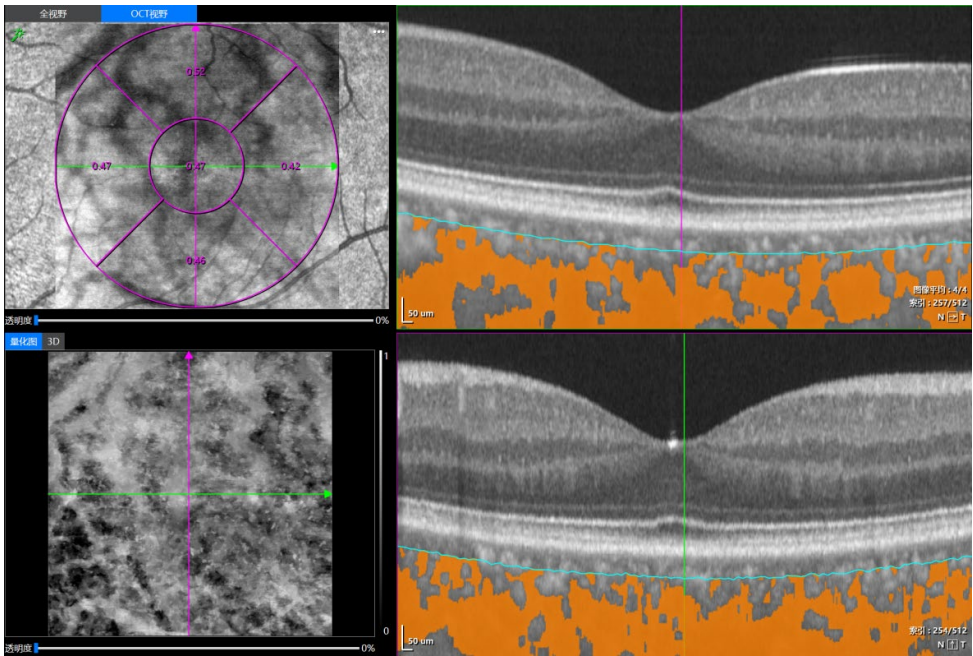


Figure 2. Angio 3 mm × 3 mm (512 × 512) mode macular CT, CVV, CVI
图 2. Angio 3 mm × 3 mm (512 × 512)模式的黄斑区 CT, CVV、CVI

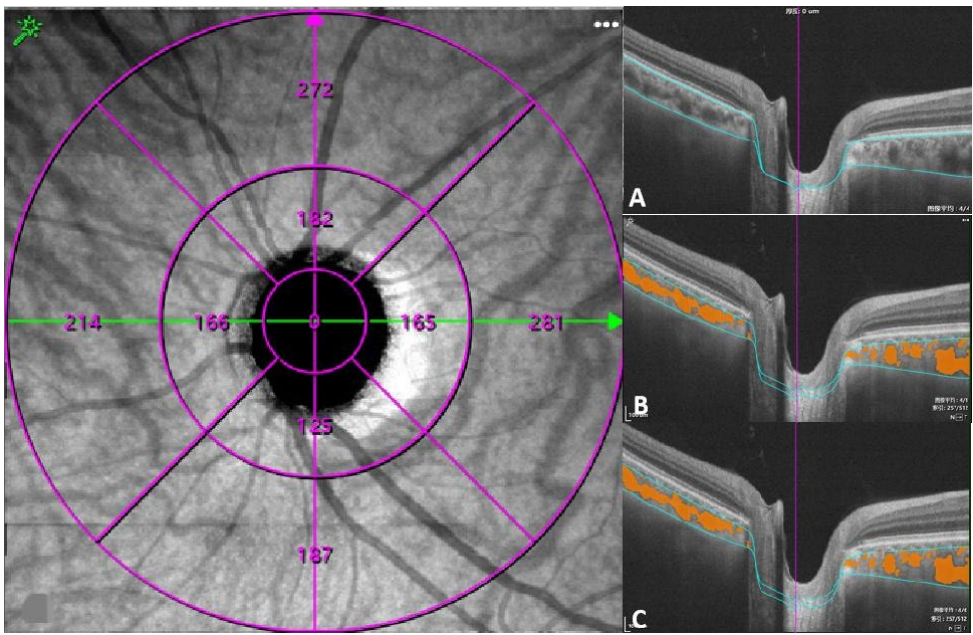


Figure 3. CT (A), CVV (B), CVI (C) in OHN 6 mm × 6 mm (512 × 512) mode
图 3. OHN 6 mm × 6 mm (512 × 512)模式的视乳头区 CT (A)、CVV (B)、CVI (C)

3. 研究结果

3.1. 患者基本资料

根据纳入标准和排除标准，本研究共纳入 88 例，分为两组，其中 SMILE 组 51 只眼，FS-LASIK 组 37 只眼；如(表 1)所示：经两独立样本 t 检验和卡方检验发现，两组患者性别、年龄、球镜、柱镜、等效

球镜、眼轴的比较, 差异均无统计学意义($P > 0.05$)。FS-LASIK 组负压时间低于 SMILE 组($P < 0.05$)。

Table 1. Comparison of general data between the two groups

表 1. 两组患者一般资料比较

指标	FS-LASIK 组(n = 37)	SMILE 组(n = 51)	χ^2/t 值	P 值
性别, n (%)			0.126	0.723
男	21 (56.8)	27 (52.9)		
女	16 (43.2)	24 (47.1)		
年龄(岁)	22.51 $\pm$ 3.08	21.78 $\pm$ 3.05	1.102	0.274
球镜(D)	-4.57 $\pm$ 1.12	-4.22 $\pm$ 0.97	-1.552	0.124
柱镜(D)	-0.68 $\pm$ 0.50	-0.70 $\pm$ 0.54	0.180	0.857
等效球镜(D)	-4.90 $\pm$ 0.99	-4.57 $\pm$ 1.05	-1.491	0.140
眼轴(mm)	25.64 $\pm$ 0.66	25.70 $\pm$ 0.86	-0.361	0.719
负压时间(S)	22.62 $\pm$ 0.55	29.39 $\pm$ 0.67	-50.721	<0.001

注: 与术前比较, ^a $P < 0.05$ 。

3.2. FAZ 各参数的比较, 结果显示(表 2)所示

1) 与术前相比: 两组患者 Area 在术后各随访点均上升($P < 0.05$)。FS-LASIK 组 Perim 术后 1 月上升($P < 0.05$), 术后 3 月恢复; SMILE 组术后各随访点差异均无统计学意义($P > 0.05$)。两组患者 CI 术后各随访点差异均无统计学意义($P > 0.05$)。SMILE 组 PD 术后 1 天下降($P < 0.05$), 随后逐渐恢复至术前水平; FA-LASIK 组术后各随访点差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

2) 组间比较: 两组患者 Area、Perim 术后各随访点差异均无统计学意义($P > 0.05$)。FS-LASIK 组术后 1 天 CI 高于 SMILE 组($P < 0.05$), FS-LASIK 组术后 1 月 PD 低于全飞秒组($P < 0.05$), 余两组比较差异无统计学差异($P > 0.05$)。

Table 2. Comparison of FAZ parameters before and after operation

表 2. FAZ 各参数术前、术后的比较

指标	组别	例数	术前	术后 1 天	术后 1 月	术后 3 月	F 值	P 值
Area	FS-LASIK 组	37	0.313 $\pm$ 0.082	0.327 $\pm$ 0.084 ^a	0.331 $\pm$ 0.086 ^a	0.326 $\pm$ 0.085 ^a	18.062	<0.001
	SMLIE 组	51	0.298 $\pm$ 0.086	0.315 $\pm$ 0.083 ^a	0.309 $\pm$ 0.089 ^a	0.308 $\pm$ 0.087 ^a	12.992	<0.001
	F 值		0.580	0.357	1.060	0.824		
	P 值		0.449	0.552	0.307	0.367		
Perim	FS-LASIK 组	37	2.24 $\pm$ 0.27	2.29 $\pm$ 0.26	2.30 $\pm$ 0.27 ^a	2.26 $\pm$ 0.36	2.995	0.037
	SMLIE 组	51	2.22 $\pm$ 0.29	2.27 $\pm$ 0.28	2.25 $\pm$ 0.32	2.21 $\pm$ 0.35	2.336	0.082
	F 值		0.060	0.043	0.471	0.387		
	P 值		0.807	0.837	0.495	0.536		

续表

CI	FS-LASIK 组	37	0.766 ± 0.050	0.767 ± 0.051	0.764 ± 0.039	0.766 ± 0.047	0.023	0.995
	SMLIE 组	51	0.734 ± 0.091	0.733 ± 0.080	0.739 ± 0.076	0.746 ± 0.068	0.714	0.547
	F 值		3.231	4.455	2.878	1.950		
	P 值		0.077	0.038	0.094	0.167		
PD	FS-LASIK 组	37	36.01 ± 5.10	33.95 ± 4.87	34.19 ± 5.84	36.53 ± 4.02	3.123	0.051
	SMLIE 组	51	38.33 ± 4.37	34.46 ± 5.97 ^a	37.16 ± 5.91	37.58 ± 5.54	10.429	<0.001
	F 值		4.189	0.149	4.460	0.794		
	P 值		0.045	0.701	0.038	0.376		

注：与术前比较，^aP < 0.05。

3.3. 黄斑区和视乳头区脉络膜厚度(CT)的比较

1) 分别比较术前与术后 1 天、术后 1 月、术后 3 月的黄斑区 CT 结果显示(表 3)所示：

Table 3. Comparison of macular CT before and after operation

表 3. 黄斑区 CT 术前、术后的比较

指标	组别	术前	术后 1 天	术后 1 月	术后 3 月	F 值	P 值
0~3 (s)	FS-LASIK 组	255.42 ± 65.26	262.65 ± 70.30	266.78 ± 65.47 ^a	263.69 ± 68.02 ^a	10.539	<0.001
	SMLIE 组	240.61 ± 50.17	251.52 ± 60.43 ^a	259.30 ± 50.00 ^a	258.61 ± 56.80 ^a	32.806	<0.001
	F 值	1.146	0.507	0.292	0.116		
	P 值	0.288	0.479	0.591	0.734		
1~3 (s)	FS-LASIK 组	255.57 ± 64.18	263.15 ± 69.62 ^a	269.03 ± 63.60 ^a	263.43 ± 66.71 ^a	12.500	<0.001
	SMLIE 组	238.99 ± 49.82	246.88 ± 56.00 ^a	259.24 ± 49.27 ^a	258.73 ± 55.19 ^a	29.677	<0.001
	F 值	1.473	1.172	0.524	0.104		
	P 值	0.229	0.283	0.472	0.748		

注：s = sum/平均值；与术前比较，^aP < 0.05。

a) 与术前比较，黄斑区 CT 平均值 0~3 (s) FS-LASIK 组术后 1 月和术后 3 月均上升(P < 0.05)；SMILE 组术后各随访点均上升(P < 0.05)。组间比较：术后各随访点差异均无统计学意义(P > 0.05)。

b) 黄斑旁中心凹区 CT 平均值(1~3 s)，两组患者术后各随访点均上升(P < 0.05)。组间比较：术后各随访点差异均无统计学意义(P > 0.05)。

2) 分别比较术前与术后 1 天、术后 1 月、术后 3 月的视盘区脉络膜厚度(CT)。结果显示(表 4)所示：

a) 与术前比较，视盘区 CT 平均值(1~3 s)：与术前比较，两组术后各随访点，差异均无统计学意义(P > 0.05)。两组间对比：FS-LASIK 组术后个随访点均低于 SMILE 组(P < 0.05)。

b) 与术前比较，视盘旁区 CT 平均值 3~6 (s)，两组患者术后各随访点，差异均无统计学意义(P > 0.05)。组间比较：对于视盘旁区脉络膜厚度平均值两组患者术后各随访点，差异均无统计学意义(P > 0.05)。

Table 4. Comparison of preoperative and postoperative CT in papillary area
表 4. 视乳头区 CT 术前、术后的比较

指标	组别	例数	术前	术后 1 天	术后 1 月	术后 3 月	F 值	P 值
0~3 (s)	FS-LASIK 组	37	130.09 ± 18.92	129.99 ± 19.19	130.47 ± 22.34	125.70 ± 19.30	2.985	0.058
	SMLIE 组	51	140.47 ± 23.00	147.05 ± 44.62	141.10 ± 21.50	139.15 ± 25.74	3.036	0.052
	F 值		4.195	4.137	4.112	5.999		
	P 值		0.044	0.046	0.046	0.017		
3~6 (s)	FS-LASIK 组	37	170.07 ± 34.77	172.06 ± 36.33	170.10 ± 37.12	166.71 ± 37.19	2.777	0.055
	SMLIE 组	51	179.84 ± 32.40	180.54 ± 32.41	181.70 ± 28.50	180.81 ± 34.77	0.302	0.824
	F 值		1.481	1.065	2.175	2.687		
	P 值		0.228	0.306	0.145	0.106		

注: s = sum/平均值; 与术前比较, ^aP < 0.05。

3.4. 黄斑区 CVV 及 CVI 的比较

1) 分别比较术前与术后 1 天、术后 1 月、术后 3 月的黄斑区大中血管容积(CVV)。结果显示(表 5)所示:

Table 5. Comparison of preoperative and postoperative CVV in macular region
表 5. 黄斑区 CVV 术前、术后的比较

指标	组别	例数	治疗前	治疗后 1 天	治疗后 1 月	治疗后 3 月	F 值	P 值
0~1 (s)	FS-LASIK 组	37	0.098 ± 0.059	0.089 ± 0.037	0.089 ± 0.040	0.114 ± 0.094	2.199	0.096
	SMLIE 组	51	0.086 ± 0.034	0.095 ± 0.038	0.117 ± 0.087	0.092 ± 0.036	2.034	0.118
	F 值		1.056	0.376	2.733	1.745		
	P 值		0.308	0.542	0.103	0.191		
0~3 (s)	FS-LASIK 组	37	0.65 ± 0.25	0.77 ± 0.28 ^a	0.77 ± 0.30 ^a	0.70 ± 0.29	14.075	<0.001
	SMLIE 组	51	0.73 ± 0.25	0.80 ± 0.27	0.78 ± 0.28	0.77 ± 0.26	3.008	0.053
	F 值		1.839	0.147	0.003	1.258		
	P 值		0.180	0.703	0.958	0.266		
1~3 (s)	FS-LASIK 组	37	0.63 ± 0.23	0.68 ± 0.24 ^a	0.68 ± 0.26 ^a	0.67 ± 0.24	7.187	<0.001
	SMLIE 组	51	0.65 ± 0.21	0.71 ± 0.24 ^a	0.70 ± 0.24 ^a	0.68 ± 0.22	9.304	<0.001
	F 值		0.088	0.164	0.031	0.056		
	P 值		0.768	0.686	0.860	0.813		

注: s = sum/平均值; 与术前比较, ^aP < 0.05。

- a) 与术前比较, 黄斑中心区 CVV 平均值 0~1 (s), 两组术后各随访点差异均无统计学意义($P>0.05$)。组间比较: 差异无统计学意义($P>0.05$)。
- b) 黄斑区 CVV 平均值 0~3 (s), FS-LASIK 组术后 1 天、术后 1 月均上升($P<0.05$), 术后 3 月下降恢复至术前水平; SMILE 组术后各随访点差异均无统计学意义($P>0.05$)。组间比较: 术后各随访点差异均无统计学意义($P>0.05$)。
- c) 黄斑旁中心凹区 CVV 平均值 1~3 (s), 两组患者术后 1 天、术后 1 月均上升($P<0.05$), 术后 3 月下降至术前水平。组间比较: 两组患者术后各随访点差异均无统计学意义($P>0.05$)。
- 2) 分别比较术前与术后 1 天、术后 1 月、术后 3 月的黄斑区大中血管指数(CVI)。结果显示(表 6)所示:

Table 6. Comparison of macular CVI before and after operation
表 6. 黄斑区 CVI 术前、术后的比较

指标	组别	例数	术前	治疗后 1 天	治疗后 1 月	治疗后 3 月	F 值	P 值
0~1 (s)	FS-LASIK 组	37	0.44 ± 0.12	0.49 ± 0.11 ^a	0.46 ± 0.14	0.48 ± 0.10 ^a	6.157	0.001
	SMLIE 组	51	0.46 ± 0.10	0.49 ± 0.10	0.47 ± 0.10	0.45 ± 0.10	2.920	0.084
	F 值		0.759	0.067	0.131	1.056		
	P 值		0.387	0.796	0.719	0.308		
0~3 (s)	FS-LASIK 组	37	0.452 ± 0.068	0.474 ± 0.094 ^a	0.455 ± 0.099	0.463 ± 0.087	4.138	0.009
	SMLIE 组	51	0.445 ± 0.081	0.470 ± 0.076 ^a	0.461 ± 0.076	0.436 ± 0.074	7.909	<0.001
	F 值		0.133	0.030	0.086	1.945		
	P 值		0.716	0.864	0.770	0.168		
1~3 (s)	FS-LASIK 组	37	0.45 ± 0.06	0.47 ± 0.09 ^a	0.46 ± 0.10	0.46 ± 0.09	3.630	0.017
	SMLIE 组	51	0.44 ± 0.08	0.47 ± 0.07 ^a	0.46 ± 0.07	0.43 ± 0.07	7.970	<0.001
	F 值		0.077	0.046	0.016	2.048		
	P 值		0.782	0.831	0.901	0.157		

注: s = sum/平均值; 与术前比较, ^a $P<0.05$ 。

- a) 与术前比较, 黄斑中心区 CVI 平均值 0~1 (s), FS-LASIK 组术后 1 天和术后 3 月上升($P<0.05$), 术后 1 月有波动。SMILE 组各随访点比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。组间比较: 两组患者术后各随访点, 差异均无统计学意义($P>0.05$)。
- b) 黄斑区 CVI 平均值 0~3 (s), 两组患者仅术后 1 天上升($P<0.05$), 其余随访点下降至术前水平($P>0.05$)。组间比较: 两组患者术后各随访点差异均无统计学意义($P>0.05$)。
- c) 黄斑旁中心凹区 CVI 平均值 1~3 (s), 两组患者仅术后 1 天上升($P<0.05$), 随后下降。组间比较: 两组患者术后各随访点, 差异均无统计学意义($P>0.05$)。

3.5. 视盘区 CVV 及 CVI 的比较

- 1) 分别比较术前与术后 1 天、术后 1 月、术后 3 月的视盘区大中血管容积(CVV)。结果显示(表 7)所示:

Table 7. Comparison of preoperative and postoperative CVV in optic disc area
表 7. 视盘区 CVV 术前、术后的比较

指标	组别	例数	术前	治疗后 1 天	治疗后 1 月	治疗后 3 月	F 值	P 值
1~3 (s)	FS-LASIK 组	37	0.171 ± 0.068	0.158 ± 0.067 ^a	0.154 ± 0.063	0.148 ± 0.060 ^a	6.279	0.001
	SMLIE 组	51	0.207 ± 0.062	0.218 ± 0.071	0.212 ± 0.061	0.205 ± 0.079	2.370	0.091
	F 值		5.229	12.829	15.210	11.147		
	P 值		0.025	0.001	<0.001	0.001		
3~6 (s)	FS-LASIK 组	37	1.36 ± 0.49	1.40 ± 0.50	1.34 ± 0.53	1.30 ± 0.50	2.857	0.058
	SMLIE 组	51	1.46 ± 0.29	1.52 ± 0.29 ^a	1.48 ± 0.26	1.45 ± 0.38	3.518	0.020
	F 值		1.162	1.505	1.947	2.154		
	P 值		0.285	0.224	0.168	0.147		

注: s = sum/平均值; 与术前比较, ^aP < 0.05。

a) 与术前比较, ① 视盘区 CVV 平均值 1~3 (s), FS-LASIK 组术后 1 天和术后 3 月均下降(P < 0.05)。SMILE 组术后各随访点比较差异均无统计学意义(P > 0.05)。组间比较: FS-LASIK 组术后各随访点均低于 SMILE 组(P < 0.05)。

b) 视盘旁区 CVV 平均值 3~6 (s), SMILE 组术后 1 天上升(P < 0.05), 术后 1 月后恢复术前水平; FS-LASIK 组术后各随访点差异均无统计学意义(P > 0.05)。组间比较: 两组术后各随访点差异均无统计学意义(P > 0.05)。

2) 分别比较术前与术后 1 天、术后 1 月、术后 3 月的视盘区大中血管指数(CVI)。结果显示(表 8)所示:

Table 8. Comparison of optic disc CVI before and after operation
表 8. 视盘区 CVI 术前、术后的比较

指标	组别	例数	术前	治疗后 1 天	治疗后 1 月	治疗后 3 月	F 值	P 值
1~3 (s)	FS-LASIK 组	37	0.227 ± 0.063	0.217 ± 0.063 ^a	0.219 ± 0.064	0.210 ± 0.058 ^a	4.747	0.005
	SMLIE 组	51	0.224 ± 0.028	0.234 ± 0.034 ^a	0.220 ± 0.035	0.218 ± 0.037	6.035	0.001
	F 值		0.075	2.005	0.004	0.522		
	P 值		0.785	0.161	0.952	0.473		
3~6 (s)	FS-LASIK 组	37	0.467 ± 0.078	0.479 ± 0.081	0.463 ± 0.092	0.465 ± 0.093	2.154	0.131
	SMLIE 组	51	0.404 ± 0.050	0.421 ± 0.048 ^a	0.406 ± 0.057	0.409 ± 0.046	4.930	0.004
	F 值		16.509	13.316	10.076	10.580		
	P 值		<0.001	0.001	0.002	0.002		

注: s = sum/平均值; 与术前比较, ^aP < 0.05。

a) 与术前比, 视盘区 CVI 平均值 1~3 (s), FS-LASIK 组术后 1 天和术后 3 月下降(P < 0.05), 术后 1 月有波动; SMILE 组术后 1 天上升(P < 0.05), 术后 1 月下降至术前水平。组间比较: 两组术后各随访点

差无统计学意义($P > 0.05$)。

b) 视盘旁区 CVI 平均值 3~6 (s), SMILE 组术后 1 天上升($P < 0.05$), 术后 1 月、3 月恢复术前水平($P > 0.05$); FS-LASIK 组术后各随访点差异均无统计学意义($P > 0.05$)。组间比较: 两组术后各随访点差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

4. 讨论

1) 考虑到眼底敏感性, 本研究选择了低中度患者, 排除了高度近视、个体因素。一般情况下, 两组患者年龄、球镜、柱镜、等效球镜、眼轴的比较, 差异均无统计学意义, 而 FS-LASIK 组负压时间低于 SMILE 组, 且差异有统计学意义; 手术设置中均使用同一种飞秒激光系统, 同一负压吸引强度, 单纯比较不同负压吸引时间对眼底结膜和血流的影响, 因此可间接反应出不同负压时间对眼底微循环的改变。

2) 近视是一种具有多因素病因的复杂疾病, 其潜在的病理生理机制尚不完全清楚; 但大量的证据特别是来自动物研究的证据表明脉络膜在调节眼轴的生长和近视的发展中起着重要作用。脉络膜的主要功能是为外层视网膜提供氧气和营养。其他功能包括光吸收、体温调节和通过调节脉络膜血流调节眼压[13], 此外, 一些研究表明脉络膜还有另外两个功能: 通过脉络膜厚度的变化来调整视网膜的位置, 以及参与调节血管化和巩膜重塑以及眼睛生长调节的生长因子的释放[14]。在动物研究中发现, 与正常眼相比, 近视动物模型的脉络膜较薄, 远视动物模型的脉络膜较厚[15]。近年来在大量基于 OCT 成人横断面研究中也证明了类似的变化, 脉络膜厚度的变化与近视的发展有关[16] [17]。脉络膜由大量血管组成, 脉络膜厚度直接由流向脉络膜的血流量和通过脉络膜脉管系统提供的营养决定。有研究证明, 脉络膜毛细血管层的小叶之间存在分水岭区域, 并且毛细血管管壁薄, 缺乏结缔组织及平滑肌细胞层的支撑, 在缺血缺氧情况下较大血管易于受到损伤[18]。

3) 本篇文章主要探讨角膜屈光手术, 目前由于激光角膜屈光手术疗效确切且安全性高, 已成为矫正成人屈光不正最普遍的手术之一[19]。SMILE 与 FS-LASIK 是目前最为常见的角膜屈光基质手术。既往研究显示两种手术在术后屈光度、视觉质量、角膜生物力学、视网膜周边屈光状态及像差等方面均具有良好的安全性及有效性[20] [21]。

4) 近视屈光手术影响眼底结构的主要原因是术中负压吸引的使用, 同时, 使用显微角膜刀进行制瓣的手术方式还会涉及到角膜刀的抽吸作用。a) 在动物实验中, 在兔眼的临床研究中发现, 30 秒和 1 分钟的负压吸引对视神经和视网膜细胞的影响较轻微, 但 3 分钟的负压吸引则导致视神经纤维和视网膜细胞发生明显变化[22]; 另一项研究中, 20 秒和 45 秒的负压吸引组在术后 14 天时与对照组相比没有显著差异, 然而, 3 分钟负压吸引组在术后 14 天时观察到显著的视网膜厚度变化[23]。这表明较长时间的负压吸引可能增加对视网膜结构和视神经的潜在损害风险。b) 在动物模型中, FS-LASIK/SMILE 术中负压吸引, 会出现眼内压升高, 可能导致黄斑和视乳头缺血, 致光感受器和神经节细胞损伤[7]。

5) 研究现状中提出, 眼压的瞬间升高是否会对已经发生微结构改变的近视眼底产生影响仍需要进一步探讨, 已证明通过更新手术器械(如 VisuMax 飞秒激光器), 吸环引起的 IOP 升高已显著降低, 但并未完全消除。在既往的研究中, Zivkovic 等[24]运用频域 OCT 观察板层刀制瓣的 LASIK 手术前后视乳头周围视网膜神经纤维层(RNFL)厚度及黄斑神经节细胞-内丛状层(GC-IPL)厚度的变化, 随访观察 6 个月, 手术前后差异无统计学意义。同样有研究发现 SMILE 和 FS-LASIK 手术前后视网膜厚度和神经纤维层厚度的变化, 直至术后 6 个月, 2 组间视网膜厚度及神经纤维层厚度差异无统计学意义[25]。由此得出负压吸引对眼底视网膜厚度及神经纤维层厚度均无影响。随着 OCTA 的出现, 有研究证明高度近视患者行 SMILE 与 FS-LASIK 术, 术前、术后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

差异无统计学意义, 两组手术术中负压吸引对高度近视眼底微结构无显著影响[26]。

6) 结果分析发现: 两组术后 Area 术后各随访点均保持升高, 但两组间对比差异无意义; 这和以往的学者研究发现一致, 这可能是由于黄斑区紧邻中心凹边缘毛细血管的缺损造成的, 但组间对比无意义, 可得出两组的负压时间对比无差异。该改变需进一步研究, 明确黄斑中心凹无血管区面积改变维持的时间。两组术后 CVI、CVV 均有短暂性的改变, 本研究中发现不同的负压时间对脉络膜大中血管有不同的影响, 因脉络膜分水岭隔离脉络膜循环、胚裂的闭合及视神经解剖位置相关, 各区域象限表现的变化不同, 但这种波动改变术后均可逐渐恢复至术前水平。在既往研究中主要通过中心凹下脉络膜厚度(SFCT)对脉络膜变化进行评估, 然而 SFCT 受到多种生理因素影响, 并且变异性较大[27]。而 CVI 受生理因素影响较 SFCT 小, 从而表现出更小的变异性, 故 CVI 可以监测脉络膜血管与基质的改变, 还能够更深刻地理解眼底疾病发生发展的病理生理机制, 是研究脉络膜结构变化和血流灌注更有效的评估指标[28]。两组术后黄斑区的 CT 术后均增厚, 而视乳头区 FS-LASIK 组术后各随访点均低于 SMILE 组, 本研究结果暂考虑为 SMILE 的负压时间比 FS-LASIK 长, 增加了眼部主要血管短暂缺血的风险, 其引起的一系列缺血缺氧可能会减少术后血流量, 从而引起脉络膜反应程度高于 FS-LASIK。

7) 有文章提出, 近视进展伴随着脉络膜结果和血流的变化, 与近视程度显著相关, 近视度数越高, 脉络膜厚度越薄和脉络血流灌注越低[29]。有研究提出, 眼灌注压的降低并不会导致脉络膜和视乳头血流量减少, 但视网膜血流是根据眼灌注压(OPP)的变化而自动调节的, 且和视网膜微循环自身负反馈调节机制有关[30]。而视网膜、脉络膜微循环的自身调节不仅依赖于 OPP, 还与 IOP 的水平密切相关。有研究提出, 视网膜微循环的自身负反馈调节机制能够根据局部代谢需求的变化来调整血流, 从而保证视网膜细胞的生存和功能[31]。本研究表明两种手术方式中负压时间对眼灌注压的影响均在可接受范围内。

综上所述, 对于低中度近视患者, SMILE 和 FS-LASIK 的术中不同的负压吸引可导致眼底微血管短暂性变化, 持续时间长短不同; 在目前研究中, 此种变化暂不会导致眼底疾病发生。

参考文献

- [1] Al-Sheikh, M., Phasukkijwatana, N., Dolz-Marco, R., Rahimi, M., Iafe, N.A., Freund, K.B., *et al.* (2017) Quantitative OCT Angiography of the Retinal Microvasculature and the Choriocapillaris in Myopic Eyes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **58**, 2063-2069. <https://doi.org/10.1167/iovs.16-21289>
- [2] Read, S.A., Alonso-Caneiro, D., Vincent, S.J. and Collins, M.J. (2015) Longitudinal Changes in Choroidal Thickness and Eye Growth in Childhood. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **56**, 3103-3112. <https://doi.org/10.1167/iovs.15-16446>
- [3] Ferrara, D., Waheed, N.K. and Duker, J.S. (2016) Investigating the Choriocapillaris and Choroidal Vasculature with New Optical Coherence Tomography Technologies. *Progress in Retinal and Eye Research*, **52**, 130-155. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2015.10.002>
- [4] Lee, J.K., Chuck, R.S. and Park, C.Y. (2015) Femtosecond Laser Refractive Surgery: Small-Incision Lenticule Extraction vs. Femtosecond Laser-Assisted LASIK. *Current Opinion in Ophthalmology*, **26**, 260-264. <https://doi.org/10.1097/icu.0000000000000158>
- [5] Zhang, S., Zhang, G., Zhou, X., Xu, R., Wang, S., Guan, Z., *et al.* (2019) Changes in Choroidal Thickness and Choroidal Blood Perfusion in Guinea Pig Myopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **60**, 3074-3083. <https://doi.org/10.1167/iovs.18-26397>
- [6] Han, T., Xu, Y., Han, X., Zeng, L., Shang, J., Chen, X., *et al.* (2018) Three-Year Outcomes of Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) and Femtosecond Laser-Assisted Laser in Situ Keratomileusis (FS-LASIK) for Myopia and Myopic Astigmatism. *British Journal of Ophthalmology*, **103**, 565-568. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2018-312140>
- [7] Cheng, W., Liu, L., Yu, S., Jing, Y., Zuo, T., Cui, T., *et al.* (2018) Real-Time Intraocular Pressure Measurements in the Vitreous Chamber of Rabbit Eyes during Small Incision Lenticule Extraction (SMILE). *Current Eye Research*, **43**, 1260-1266. <https://doi.org/10.1080/02713683.2018.1485949>
- [8] Yalçinkaya, G., Yıldız, B.K., Çakır, İ., Yıldırım, Y. and Demirok, A. (2022) Evaluation of Peripapillary—Macular Microvasculature and Choroidal Vascularity Index after Refractive Surgery. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*,

- 37, Article ID: 102714. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.102714>
- [9] Xu, Z., Gui, S., Huang, J., Li, Y., Lu, F. and Hu, L. (2020) Effect of Femtosecond Laser in Situ Keratomileusis on the Choriocapillaris Perfusion and Choroidal Thickness in Myopic Patients. *Current Eye Research*, **46**, 878-884. <https://doi.org/10.1080/02713683.2020.1833350>
 - [10] 高微茜. 基于扫频 OCT 的 SMILE 术后视网膜、脉络膜结构和血流影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 温州: 温州医科大学, 2022.
 - [11] Spaide, R.F., Fujimoto, J.G., Waheed, N.K., Sadda, S.R. and Staurengi, G. (2018) Optical Coherence Tomography Angiography. *Progress in Retinal and Eye Research*, **64**, 1-55. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2017.11.003>
 - [12] Chang, X., Li, M., Lv, L., Yan, X., Liu, Y., Zhu, M., *et al.* (2022) Assessment of Choroidal Vascularity and Choriocapillaris Blood Perfusion after Accommodation in Myopia, Emmetropia, and Hyperopia Groups among Children. *Frontiers in Physiology*, **13**, Article ID: 854240. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.854240>
 - [13] Nickla, D.L. and Wallman, J. (2010) The Multifunctional Choroid. *Progress in Retinal and Eye Research*, **29**, 144-168. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2009.12.002>
 - [14] Summers, J.A. (2013) The Choroid as a Sclera Growth Regulator. *Experimental Eye Research*, **114**, 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2013.03.008>
 - [15] Wallman, J., Wildsoet, C., Xu, A., Gottlieb, M.D., Nickla, D.L., Marran, L., *et al.* (1995) Moving the Retina: Choroidal Modulation of Refractive State. *Vision Research*, **35**, 37-50. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)e0049-q](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)e0049-q)
 - [16] Howlett, M.H.C. and McFadden, S.A. (2009) Spectacle Lens Compensation in the Pigmented Guinea Pig. *Vision Research*, **49**, 219-227. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.10.008>
 - [17] Read, S.A., Fuss, J.A., Vincent, S.J., Collins, M.J. and Alonso-caneiro, D. (2019) Choroidal Changes in Human Myopia: Insights from Optical Coherence Tomography Imaging. *Clinical and Experimental Optometry*, **102**, 270-285. <https://doi.org/10.1111/cxo.12862>
 - [18] Rochepeau, C., Kodjikian, L., Garcia, M., Coulon, C., Burillon, C., Denis, P., *et al.* (2018) Optical Coherence Tomography Angiography Quantitative Assessment of Choriocapillaris Blood Flow in Central Serous Chorioretinopathy. *American Journal of Ophthalmology*, **194**, 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2018.07.004>
 - [19] 于杰. 飞秒激光在角膜屈光手术中的研究进展[J]. 中国医疗器械信息, 2023, 29(8): 49-51.
 - [20] Osman, I.M., Helaly, H.A., Abdalla, M. and Shousha, M.A. (2016) Corneal Biomechanical Changes in Eyes with Small Incision Lenticule Extraction and Laser Assisted in Situ Keratomileusis. *BMC Ophthalmology*, **16**, Article No. 123. <https://doi.org/10.1186/s12886-016-0304-3>
 - [21] 杜玉芹, 周跃华, 李羽. FS-LASIK 与 SMILE 手术前后视网膜周边屈光状态及像差的变化[J]. 国际眼科杂志, 2023, 23(12): 1961-1966.
 - [22] Ye, A.L., Pang, G.X. and Han, Y.H. (2003) Effect of Negative Pressure Suction on Rabbit Optic Nerve and Retina. *Chinese Journal of Ophthalmology*, **39**, 136-139.
 - [23] Zhao, H.X., Liu, H., Niu, C.M. and Guan, W.Y. (2015) Influence of Transient Intraocular Pressure Elevation during Laser in Situ Keratomileusis on Rabbit Retina Thickness. *International Journal of Ophthalmology*, **8**, 1089-1093.
 - [24] Zivkovic, M., Jaksic, V., Giarmoukakis, A., Grentzelos, M., Zlatanovic, M., Zlatanovic, G., *et al.* (2017) The Effect of LASIK Procedure on Peripapillary Retinal Nerve Fiber Layer and Macular Ganglion Cell-Inner Plexiform Layer Thickness in Myopic Eyes. *BioMed Research International*, **2017**, Article ID: 8923819. <https://doi.org/10.1155/2017/8923819>
 - [25] Zhang, J., Zhou, Y., Zheng, Y., Liu, Q., Zhai, C. and Wang, Y. (2014) Effect of Suction on Macular and Retinal Nerve Fiber Layer Thickness during Femtosecond Lenticule Extraction and Femtosecond Laser-Assisted Laser in Situ Keratomileusis. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **40**, 1994-2001. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2014.03.027>
 - [26] 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[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2019, 21(6): 401-407.
 - [27] Agrawal, R., Gupta, P., Tan, K., Cheung, C.M.G., Wong, T. and Cheng, C. (2016) Choroidal Vascularity Index as a Measure of Vascular Status of the Choroid: Measurements in Healthy Eyes from a Population-Based Study. *Scientific Reports*, **6**, Article No. 21090. <https://doi.org/10.1038/srep21090>
 - [28] 孙功鹏, 陈长征. 脉络膜血管指数在眼底疾病中的应用研究现状及进展[J]. 中华眼底病杂志, 2020, 36(11): 897-901.
 - [29] Wu, H., Zhang, G., Shen, M., Xu, R., Wang, P., Guan, Z., *et al.* (2021) Assessment of Choroidal Vascularity and Choriocapillaris Blood Perfusion in Anisomyopic Adults by SS-OCT/OCTA. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **62**, Article No. 8. <https://doi.org/10.1167/iovs.62.1.8>
 - [30] Puchner, S., Schmidl, D., Ginner, L., Augustin, M., Leitgeb, R., Szegedi, S., *et al.* (2020) Changes in Retinal Blood Flow in Response to an Experimental Increase in IOP in Healthy Participants as Assessed with Doppler Optical Coherence

-
- Tomography. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **61**, Article No. 33. <https://doi.org/10.1167/iovs.61.2.33>
- [31] Yu, D., Cringle, S.J., Yu, P.K., Balaratnasingam, C., Mehnert, A., Sarunic, M.V., *et al.* (2019) Retinal Capillary Perfusion: Spatial and Temporal Heterogeneity. *Progress in Retinal and Eye Research*, **70**, 23-54. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2019.01.001>