

基于多模态 OCTA 观察 SMILE 手术对视网膜和脉络膜微循环与结构的影响

厉青青, 高颖, 何娜, 程雪莹, 叶丹妮

【摘要】目的 应用多模态光学相干断层扫描血管成像(OCTA)观察飞秒激光微切口角膜基质透镜取出术(SMILE)对近视患者视网膜和脉络膜微循环及结构的影响。**方法** 收集 2023 年 5 月至 2024 年 5 月金华市中心医院收治的行 SMILE 手术治疗的近视患者 39 例(78 眼),根据眼轴长度(AL)分为 AL < 24.0 mm 组[A 组, 12 例(24 眼)]、24.0 ~ 25.9 mm 组[B 组, 16 例(32 眼)]及 AL ≥ 26.0 mm 组[C 组, 11 例(22 眼)]。比较 3 组 SMILE 术前(PRE)、术后 1 d(POD1)和术后 1 个月(POM1)的黄斑区视网膜厚度(RT)、神经节细胞内丛状层厚度(GCIPL)、黄斑中心凹无血管区面积(FAZ)、视网膜浅层血管网密度(SVP)及脉络膜厚度等指标。**结果** 在 PRE、POD1 及 POM1, 3 组患者上方(S)、下方(I)及鼻侧(N)的 RT 值组间、时间点差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);在 PRE, A 组 S 的 RT 值高于 C 组($P < 0.05$);在 POD1, A 组 I 的 RT 值高于 B、C 组(均 $P < 0.05$);在 POM1, A 组 I 的 RT 值高于 B 组(均 $P < 0.05$)。3 组患者 GCIPL 值组间差异有统计学意义($P < 0.05$), A 组与 B 组 GCIPL 值均高于 C 组, A 组高于 B 组(均 $P < 0.05$)。3 组 FAZ 值组间、时间、交互差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。3 组 SVP 组间、时间差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。3 组患者脉络膜厚度组间、时间差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$),在 POD1、POM1, A 组脉络膜厚度高于 B、C 组(均 $P < 0.05$)。**结论** 基于多模态 OCTA 的观察, SMILE 手术会导致近视患者术后早期的视网膜结构及脉络膜微循环产生轻微波动。

【关键词】 光学相干断层扫描血管成像; 小切口微透镜取出术; 视网膜; 脉络膜

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.06.008

【中图分类号】 R774.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1671-0800(2025)06-0577-04

近视的发病率逐年增长,其所导致的眼底黄斑发生病理改变是影响视觉功能的主要原因^[1-2]。屈光手术是治疗不同程度近视的主要方式,对手术安全性要求极高。光学相干断层扫描血管成像技术(optical coherence tomography angiography, OCTA)是一种无创、高分辨率的血管成像技术,可通过识别视网膜脉络丛血流运动进行三维立体成像,可为屈光手术对眼后段结构的影响提供可靠的评估依据^[3-5]。近年来,小切口微透镜取出术(small-incision lenticule extraction, SMILE)以其微创和疗效好的特点广泛用于屈光手术,且在改善患者视力的基础上,采用飞秒激光,可进一步降低对患者角膜神经组织的损伤,有效维持术后角膜生物力学的稳定性^[6-7]。基于此,本

研究通过多模态 OCTA 技术来评估 SMILE 手术对视网膜和脉络膜微循环与结构的影响,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2023 年 5 月至 2024 年 5 月金华市中心医院收治的近视患者 39 例(78 眼),纳入标准:(1)屈光状态稳定(近视 ≤ -10.00 D);(2)接受 SMILE 手术;(3)近视度数范围为 -9.00 D < 等效球镜度(sphere equivalent, SE) < -1.00 D,最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA) ≥ 0.8。排除标准:(1)心、肺、肝及肾功能异常者;(2)合并白内障、青光眼等眼部其他病变者;(3)既往有眼科手术史或外伤史者;(4)合并高血压、系统性红斑狼疮等全身系统性疾病者。本研究获得金华市中心医院医学伦理审查委员会批准,所有研究对象均同意参加本研究并签署书面知情同意书。

将 39 例(78 眼)患者根据眼轴长度(axial length, AL)分为 AL < 24.0 mm 组[A 组, 12 例(24 眼)]、24.0

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目(LGF20H120004);
金华市公益性技术应用研究项目(2024-4-069)

作者单位: 321000 浙江省金华,金华市中心医院

通信作者: 高颖, Email: gaoy59@126.com

~25.9 mm 组[B 组, 16 例(32 眼)]及 AL $\geq$ 26.0 mm 组[C 组, 11 例(22 眼)]。A 组男 5 例, 女 7 例; 年龄 25 ~ 40 岁, 平均 (29.6 $\pm$ 3.4) 岁; 平均眼压 (15.25 $\pm$ 1.31) mmHg (1 mmHg $\approx$ 0.133 kPa)。B 组男 8 例, 女 8 例; 年龄 26 ~ 40 岁, 平均 (28.8 $\pm$ 3.2) 岁; 平均眼压 (15.47 $\pm$ 1.43) mmHg。C 组男 6 例, 女 5 例; 年龄 25 ~ 40 岁, 平均 (29.1 $\pm$ 3.4) 岁; 眼压 10 ~ 21 mmHg, 平均 (15.78 $\pm$ 1.52) mmHg。3 组患者性别比、年龄及眼压差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。

1.2 方法

1.2.1 SMILE 手术 3 组均行 SMILE 手术, 均采用德国 Carl Zeiss 公司的飞秒激光系统进行手术, 手术脉冲能量均选择 135 nJ。术前嘱患者取平躺位, 调整患者头位, 滴入盐酸丙美卡因滴眼液 (比利时 ALCON-COUVREUR, 批准文号: 国药准字 H20090082, 规格: 0.5%) 1 ~ 2 滴, 表面麻醉完成后, 使用 S 码负压吸引环固定眼球, 根据患者术前的角膜厚度、屈光不正度数、暗瞳直径等设计切削深度和光学区直径进行激光扫描, 制作角膜基质透镜, 激光扫描完成后分离基质透镜并取出, 检查其完整度, 手术完成。3 组患者 SMILE 手术均由同一位主任医师完成, 手术过程顺利, 均无术中并发症的发生。

1.2.2 多模态 OCTA 检查方法 分别在 SMILE 术前 (pre-operativ, PRE)、术后 1 d (post operative day 1, POD1) 和术后 1 个月 (post operative month 1, POM1), 由同一位技师对 3 组患者进行 OCTA (德国 Carl Zeiss 公司, 型号: Cirrus HD-OCT5000) 检查, 图像采集成功标准为图像信号评分 > 6 分。采用内置多模态 OCTA 算法, 获取黄斑区视网膜厚度 (retina thickness, RT)、神经节细胞内丛状层厚度 (ganglion cell-inner plexiform layer, GCIPL)、黄斑中心凹无血管区面积 (foveal avascular zone, FAZ)、视网膜浅层血管网密度 (superficial vascular plexus, SVP) 及脉络膜厚度等指标。

1.3 观察指标 比较 3 组 PRE、POD1 及 POM1 患者上方 (S)、下方 (I)、鼻侧 (N) 的 RT 值, 以及 3 组 GCIPL、FAZ、SVP 及脉络膜厚度水平。

1.4 统计方法 数据采用 SPSS 24.0 软件分析, 满足正态分布且方差齐的计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示, 多组间比较采用 F 检验, 多重比较采用 Bonferroni 法; 计数资料用率表示, 采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 3 组各时点 RT 值比较 在 PRE、POD1 及 POM1, 3 组患者 S、I、N 的 RT 值组间、时间点差异均有统计学意义 ($F \geq 4.56$, 均 $P < 0.05$)。在 PRE, A 组 S 的 RT 值高于 C 组 ($P < 0.05$); 在 POD1, A 组 I 的 RT 值高于 B、C 组 (均 $P < 0.05$); 在 POM1, A 组 I 的 RT 值高于 B 组 (均 $P < 0.05$), 见表 1。

2.2 3 组各时点 GCIPL 值比较 在 PRE、POD1、POM1, 3 组患者 GCIPL 值组间差异有统计学意义 ($F \geq 70.58$, 均 $P < 0.05$), A 组与 B 组 GCIP 值均高于 C 组, A 组高于 B 组 (均 $P < 0.05$), 见表 2。

2.3 3 组各时点 FAZ 值比较 在 PRE、POD1、POM1, 3 组 FAZ 值组间、时间、交互差异均无统计学意义 ($F \leq 0.10$, 均 $P > 0.05$), 见表 3。

2.4 3 组各时点 SVP 比较 在 PRE、POD1、POM1, 3 组 SVP 组间、时间差异均有统计学意义 ($F \geq 4.83$, 均 $P < 0.05$), 见表 4。

2.5 3 组各时点脉络膜厚度比较 在 PRE、POD1、POM1, 3 组患者脉络膜厚度组间、时间差异均有统计学意义 ($F \geq 5.32$, 均 $P < 0.05$)。在 POD1、POM1, A 组脉络膜厚度高于 B、C 组 (均 $P < 0.05$), 见表 5。

3 讨论

SMILE 通过飞秒激光制作角膜基质透镜, 切口微小, 可在保留大部分角膜生物力学稳定性的基础

表 1 3 组各时点 RT 值比较

组别 眼数	μm								
	S			I			N		
	PRE	POD1	POM1	PRE	POD1	POM1	PRE	POD1	POM1
A 组 24	293.15 $\pm$ 10.78	295.46 $\pm$ 10.84	297.61 $\pm$ 11.65	277.56 $\pm$ 10.28	281.65 $\pm$ 10.47	286.34 $\pm$ 11.34	309.45 $\pm$ 13.28	313.42 $\pm$ 13.56	316.68 $\pm$ 14.11
B 组 32	288.56 $\pm$ 10.53	293.41 $\pm$ 10.37	293.48 $\pm$ 10.45	273.45 $\pm$ 10.21	275.69 $\pm$ 11.39	278.46 $\pm$ 11.74	306.45 $\pm$ 12.64	310.84 $\pm$ 12.91	310.17 $\pm$ 13.87
C 组 22	281.53 $\pm$ 9.89	292.53 $\pm$ 10.23	292.44 $\pm$ 10.56	270.36 $\pm$ 10.05	273.51 $\pm$ 10.56	278.29 $\pm$ 10.98	304.56 $\pm$ 11.31	308.54 $\pm$ 11.74	309.11 $\pm$ 11.89

注: S 为上方, I 为下方, N 为鼻侧; PRE 为术前, POD1 为术后 1 d, POM1 为术后 1 个月; RT 为黄斑区视网膜厚度

表 2 3 组各时点 GCIPL 值比较					μm
组别	眼数	PRE	POD1	POM1	
A 组	24	81.26±4.12	81.54±4.20	81.10±4.06	
B 组	32	78.65±3.68	78.39±3.77	78.21±3.57	
C 组	22	74.45±3.53	74.42±3.65	73.29±3.48	

注:PRE 为术前,POD1 为术后 1 d,POM1 为术后 1 个月;GCIPL 为神经节细胞内丛状层厚度

表 4 3 组各时点 SVP 比较					%
组别	眼数	PRE	POD1	POM1	
A 组	24	45.31±3.21	42.11±3.08	41.58±2.94	
B 组	32	44.18±2.86	42.04±2.57	41.24±2.45	
C 组	22	43.56±2.43	41.34±2.29	40.06±2.21	

注:PRE 为术前,POD1 为术后 1 d,POM1 为术后 1 个月;SVP 为视网膜浅层血管网密度

上,有效地改变角膜的屈光状态,针对不同程度的近视患者具有良好的屈光度矫正效果^[8-11]。应用多模态 OCTA 检测眼底微循环结构,能够为临床提供三维血管成像,较为准确显示视网膜和脉络膜血管的空间分布情况,为目前临床诊断眼底疾病的“金标准”^[12]。

AL 的增加会导致眼球前后径的延长,眼球壁组织被动牵拉变薄,尤其是在黄斑区,RT 会随 AL 增加而减小^[13-14]。本研究结果显示,在 PRE、POD1 及 POM1,3 组患者 S、I、N 的 RT 值组间、时间点差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);在 PRE,A 组 S 的 RT 值高于 C 组($P < 0.05$);在 POD1,A 组 I 的 RT 值高于 B、C 组(均 $P < 0.05$);在 POM1,A 组 I 的 RT 值高于 B 组($P < 0.05$)。提示采用 SMILE 手术治疗不同程度的近视眼,其 RT 值会发生不同改变。分析其原因,可能是因为 AL 较短的近视患者黄斑区视网膜结构较完整;而 AL 较长的患者,眼球扩展更明显,导致视网膜组织拉伸。SMILE 手术通过飞秒激光创建角膜基质透镜并取出,主要作用于角膜,对黄斑区视网膜的直接影响具有一定局限性。A 组和 B 组患者 AL 较短,黄斑区视网膜初始厚度较大,受到手术引发的轻度炎症反应或眼内压力波动影响,RT 变化可能更明显。而 C 组患者 AL 较长,黄斑区视网膜基质更薄,对术后相关因素的敏感性减弱,RT 变化幅度较小。在 SMILE 手术前后采用多模态 OCTA 检测,能够评估黄斑区毛细血管密度和血流变化,AL 较短的 A 组和 B 组患者,黄斑区血流供应更丰富,结构相对紧密,术后 RT 恢复速度可能快于 C 组。

表 3 3 组各时点 FAZ 值比较					mm ²
组别	眼数	PRE	POD1	POM1	
A 组	24	0.40±0.11	0.39±0.10	0.39±0.11	
B 组	32	0.39±0.10	0.38±0.11	0.39±0.10	
C 组	22	0.39±0.09	0.39±0.10	0.38±0.09	

注:PRE 为术前,POD1 为术后 1 d,POM1 为术后 1 个月;FAZ 为黄斑中心凹无血管区面积

表 5 3 组各时点脉络膜厚度比较					μm
组别	眼数	PRE	POD1	POM1	
A 组	24	295.43±25.12	315.32±27.56	322.43±29.11	
B 组	32	287.64±23.05	290.11±24.53	292.47±23.45	
C 组	22	281.17±21.33	284.42±22.87	287.56±23.02	

注:PRE 为术前,POD1 为术后 1 d,POM1 为术后 1 个月

GCIPL 是视网膜中重要的功能性神经层,主要由神经节细胞体和内丛状层组成,与视觉信号的初级处理密切相关^[15-16]。本研究结果显示,在 PRE、POD1、POM1,3 组患者 GCIPL 值组间差异有统计学意义(均 $P < 0.05$),A 组与 B 组 GCIP 值均高于 C 组,A 组高于 B 组(均 $P < 0.05$)。这提示 SMILE 手术对保护视网膜具有一定优越性和安全性。SMILE 手术所采用的 Visumax 飞秒激光系统是应用弧形角膜接触面设计,负压吸引环位于角膜缘,使角膜在飞秒激光治疗过程中保持更自然的状态,不会产生明显的形变,从而降低了负压吸引时眼压升高的程度。A 组和 B 组患者 AL 较短,眼球扩张程度较小,视网膜相对致密,神经节细胞和内丛状层组织完整,黄斑区毛细血管网络更密集,使其 GCIPL 厚度较大,对 SMILE 术后炎症反应和眼内压力波动更为敏感,因此 A 组和 B 组的 GCIPL 厚度变化更显著。而 AL 较长的 C 组患者由于视网膜神经元密度降低及机械性牵拉导致退化等因素影响,使眼球扩展明显,组织结构较薄,对术后炎症和生物力学变化的反应较弱,GCIPL 厚度减少,因此相比较于 A 组和 B 组,C 组患者的 GCIPL 厚度较低。

既往研究指出^[17],SMILE 创伤相对较小,对眼球的生物力学影响较小,对于维持术后视网膜血流的稳定性具有积极作用。多模态 OCTA 在检测 SVP 时,能够在三维空间中区分不同层次的血管,避免了二维成像可能导致的血管重叠等问题,从而更精准地计算血管网密度的变化。本研究结果显示,在 PRE、POD1、POM1,3 组患者脉络膜厚度组间、时间

差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$); 在 POD1、POM1, A 组脉络膜厚度高于 B、C 组 (均 $P < 0.05$)。这提示 SMILE 手术对脉络膜微循环的保护作用较好, 短 AL 患者术后恢复的微循环较为活跃。SMILE 切口较小, 保留了大部分角膜前部组织, 使术后角膜神经纤维损伤较轻, 反射性血流调节功能更快恢复, 具有角膜生物力学保留性和神经损伤程度较低等优势。相比较于 B、C 组 AL 较长的患者, 较短 AL 的 A 组患者术后血流调节能力更强, 使血流速度更快, 脉络膜相对厚度更大。朱雪英等^[18]研究显示, 在 SMILE 术后, OCTA 显示近视患者的黄斑区视网膜 VD 以及复合体厚度存在一定影响。本研究结果与其类似, 进一步说明基于多模态 OCTA 的观察, SMILE 手术会导致近视患者术后早期的视网膜结构及脉络膜微循环产生轻微波动。

综上所述, 基于多模态 OCTA 的观察, SMILE 手术会导致近视患者术后早期的视网膜结构及脉络膜微循环产生轻微波动, 至于远期眼底结构的改变及转归, 仍需进一步研究观察。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 厉青青: 实验操作、论文撰写; 何娜、程雪莹、叶丹妮: 数据整理、统计学分析; 高颖: 研究指导、论文修改、经费支持

参 考 文 献

- [1] 钱丹, 胡琴, 刘李娜, 等. 双眼分别行 SMILE 和 FS-LASIK 的优化单眼视手术矫正近视眼伴老视的效果分析 [J]. 中华眼科杂志, 2024, 60(8): 680-688.
- [2] 张娜娜, 宋新志, 金庸, 等. 高度近视 SMILE 术后眼压变化与手术参数的相关性 [J]. 国际眼科杂志, 2022, 22(8): 1407-1410.
- [3] HEIRANI M, SHANDIZ J H, SHOJAEI A, et al. Choroidal thickness profile in normal Iranian eyes with different refractive status by spectral-domain optical coherence tomography [J]. J Curr Ophthalmol, 2020, 32(1): 58-68.
- [4] 田春柳, 赵军, 张娟美, 等. 基于 OCTA 的高度近视患眼黄斑区视网膜血管密度分析 [J]. 眼科新进展, 2020, 40(3): 257-260.
- [5] CHEN Y W, LIAO H P, SUN Y, et al. Short-term changes in the anterior segment and retina after small incision lenticule extraction [J]. BMC Ophthalmol, 2020, 20(1): 397.
- [6] CHEN M J, DAI J H, GONG L. Changes in retinal vasculature and thickness after small incision lenticule extraction with optical coherence tomography angiography [J]. J Ophthalmol, 2019, 2019: 3693140.
- [7] YANG X N, LIU F, LIU M L, et al. 15-month visual outcomes and corneal power changes of SMILE in treating high myopia with maximum myopic meridian exceeding 10.00 D [J]. J Refract Surg, 2019, 35(1): 31-39.
- [8] 邵婷, 王雁, 郝维婷, 等. Kappa 角大小对 SMILE 手术前后全眼像差的影响及其意义 [J]. 中华实验眼科杂志, 2022, 40(6): 525-532.
- [9] 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.
- [10] 邢星, 李世洋, 翁维, 等. 0.05 D 间隔球镜片验光在近视患者 SMILE 手术中的应用 [J]. 中华实验眼科杂志, 2023, 41(8): 763-767.
- [11] YAO L, ZHANG M H, WANG D Q, et al. Small incision lenticule extraction (SMILE) and laser in situ keratomileusis (LASIK) used to treat myopia and myopic astigmatism: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials [J]. Semin Ophthalmol, 2023, 38(3): 283-293.
- [12] 陈旭豪, 洪颖, 张纯. OCT 在高血压症患者视盘结构和微循环评估中的作用 [J]. 眼科新进展, 2022, 42(8): 617-621, 633.
- [13] KIM T Y, LEE M W, BAEK S K, et al. Comparison of retinal layer thicknesses of highly myopic eyes and normal eyes [J]. Korean J Ophthalmol, 2020, 34(6): 469-477.
- [14] HUANG Q, LIU L N, MA P Q, et al. Grading for suction loss in small incision lenticule extraction [J]. Int Ophthalmol, 2023, 43(2): 665-675.
- [15] 赵会芳, 赵春梅, 刘湘云, 等. mGCL 厚度、pRNFL 厚度及 BMO-MRW 对早期原发性闭角型青光眼的诊断价值 [J]. 眼科新进展, 2022, 42(3): 230-233.
- [16] 夏阳, 蔺云霞, 徐玲. 无黄斑病变近视患者黄斑区视网膜结构与视功能改变的相关性 [J]. 眼科新进展, 2020, 40(5): 457-460, 465.
- [17] TEO Z L, ANG M. Femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis versus small-incision lenticule extraction: Current approach based on evidence [J]. Curr Opin Ophthalmol, 2024, 35(4): 278-283.
- [18] 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 [J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2024, 26(1): 38-44.

收稿日期: 2025-03-04

(本文编辑: 钟美春)