

不同程度近视患者行 SMILE 术后的有效光学区及角膜高阶像差比较

潘雪珂, 陆 强

引用: 潘雪珂, 陆强. 不同程度近视患者行 SMILE 术后的有效光学区及角膜高阶像差比较. 国际眼科杂志, 2024, 24(7): 1157-1161.

作者单位: (528000) 中国广东省佛山市第二人民医院眼科

作者简介: 潘雪珂, 女, 硕士, 副主任医师, 研究方向: 屈光手术、眼视光。

通讯作者: 陆强, 男, 硕士, 主任医师, 视光学中心主任, 研究方向: 屈光手术、眼视光. luqiang63@sina.com

收稿日期: 2023-12-27 修回日期: 2024-06-03

摘要

目的: 比较低、中、高度近视患者行飞秒激光小切口基质透镜取出术 (SMILE) 后的有效光学区和角膜高阶像差。

方法: 收集 2019-02/2021-02 在我院行 SMILE 手术的患者 134 例, 均取右眼入组, 按等效球镜度 (SE) 分为低度近视组 $SE > -3.00$ D, 中度近视组 -6.00 D $< SE \leq -3.00$ D, 高度近视组 $SE \leq -6.00$ D 三组, 分别于术前和术后 1 mo 行 Pentacam 检查, 分析各组内手术前后角膜总高阶像差 (tHOA)、球差、彗差有无差异, 及术后三组间角膜总高阶像差、球差、彗差及有效光学区大小 (EOZ) 有无差异。

结果: SMILE 术后 1 mo, 三组术后有效光学区均小于预设光学区, 随着屈光度数增加, 有效光学区越小 ($P < 0.05$); 术后 1 mo 角膜总高阶像差、球差、彗差均高于术前, 除低近视度组球差术前与术后 1 mo 无差异 ($P > 0.05$), 其余组别均有差异 ($P < 0.05$); 角膜总高阶像差、球差和彗差随着屈光度数增加而增加, 三组角膜总高阶像差和球差有差异 (均 $P < 0.05$), 高度近视组与中度近视组、低度近视组彗差结果均有差异 ($P < 0.05$), 中度近视组与低度近视组彗差结果无差异 ($P > 0.05$)。

结论: 随着手术矫正的屈光度数增加, 术后有效光学区减少越多, 角膜高阶像差增加越明显; SMILE 术后 1 mo 角膜高阶像差较术前增加。

关键词: 飞秒激光小切口基质透镜取出术 (SMILE); 有效光学区; 角膜总高阶像差; 球差; 彗差

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2024.7.28

Comparison of effective optical zone and corneal high order aberration following small incision lenticule extraction for different degrees of myopia

Pan Xueke, Lu Qiang

Department of Ophthalmology, the Second People's Hospital of Foshan, Foshan 528000, Guangdong Province, China

Correspondence to: Lu Qiang. Department of Ophthalmology, the Second People's Hospital of Foshan, Foshan 528000, Guangdong Province, China. luqiang63@sina.com

Received: 2023-12-27 Accepted: 2024-06-03

Abstract

• **AIM:** To compare the effective optical zone (EOZ) and corneal high order aberrations (HOAs) after small incision lenticule extraction (SMILE) among low, moderate, and high myopic patients.

• **METHODS:** A total of 134 patients who had undergone SMILE at the Second People's Hospital of Foshan from February 2019 to February 2021 were recruited, with all right eyes enrolled. The patients were divided into low myopia group ($SE > -3.00$ D), moderate myopia group (-6.00 D $< SE \leq -3.00$ D), and high myopia group ($SE \leq -6.00$ D) according to the spherical equivalent (SE). The total HOA (tHOA), spherical aberration, coma, and EOZ were measured by Pentacam preoperatively and 1 mo postoperatively, and differences in tHOA, spherical aberration, coma, and EOZ among the three groups were analyzed.

• **RESULTS:** EOZ was smaller than programmed EOZ in all groups at 1 mo after SMILE. With the increase in corrected refractive error, the EOZ decreased further ($P < 0.05$); The tHOA, spherical aberration, and coma were significantly higher than their corresponding preoperative values in all groups at 1 mo after surgery, and there were statistical differences in the spherical aberration of all the groups at 1 mo after surgery ($P < 0.05$), except for that of the mild myopia group ($P > 0.05$). The tHOA, spherical aberration and coma increased with corrected refractive errors; the difference in tHOA and spherical aberration was statistically significant among the three groups (all $P < 0.05$). Coma in the high myopia group was significantly greater than that in the moderate myopia group and the mild myopia group ($P < 0.05$). In addition, the coma in the moderate myopia group and the mild myopia group was not statistically significant ($P > 0.05$).

• **CONCLUSION:** With the increase of the refractive power corrected by surgery, the postoperative EOZ reduced more after surgery, and the HOA of the cornea is increased; corneal HOA increases at 1 mo after SMILE.

• **KEYWORDS:** small incision lenticule extraction (SMILE); effective optical zone; corneal total high order aberration; spherical aberration; coma

Citation: Pan XK, Lu Q. Comparison of effective optical zone and corneal high order aberration following small incision lenticule extraction for different degrees of myopia. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2024, 24(7): 1157-1161.

0 引言

飞秒激光小切口基质透镜取出术(SMILE)面世以来,已逐渐成为矫正近视的主流术式之一^[1-3]。随着手术量的增多和患者对术后视觉质量要求的增加,提升手术质量及为患者选择合适的手术方式至关重要。在角膜屈光术后,拥有角膜中央区域最低的曲率和最佳光学质量的区域被称为有效光学区(effective optical zone,EOZ)^[4-5],也叫功能光学区。EOZ范围越大,角膜像差越低,视觉质量越好,但会有更多的组织切削,因而术前手术参数设计时需要考虑患者的角膜厚度、术前屈光度等因素,不可无限增加光学区^[6-7]。了解不同屈光度近视患者术后对有效光学区和术后角膜像差的影响,可以为手术参数设计提供参考,使患者达到更优的视觉效果。本研究分析预设光学区同为6.5 mm的高、中、低屈光度近视患者术后有效光学区有无区别,以及三组术后像差变化量的差异。

1 对象和方法

1.1 对象

收集2019-02/2021-02在我院行SMILE手术的患者134例,男45例,女89例,年龄为18-45岁,球镜度数为-0.50--10.00 D,柱镜度数<-2.00 D,屈光度数稳定,2 a内增长小于-0.50 D,1 wk内未配戴隐形眼镜,1 mo内未配戴硬性角膜接触镜(RGP),3 mo内未配戴角膜塑形镜(OK镜),均取右眼入组。排除眼部器质性病变、圆锥角膜病史、全身免疫系统病史。按等效球镜度数分为低度近视组(SE>-3.00 D,45眼),中度近视组(-6.00 D<SE≤-3.00 D,46眼),高度近视组(SE≤-6.00 D,43眼)三组。本研究符合医学伦理学要求,经我院医学伦理委员会审核批准,所有患者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 手术检查

1.2.1.1 一般检查

所有患者术前进行裸眼视力检查,裂隙灯检查,小瞳下客观验光,小瞳下主观验光,散瞳下客观验光,散瞳下主观验光,眼压,角膜厚度,眼底检查,角膜生物力学检查,眼球生物学测量及角膜地形图检查等。符合手术条件患者行SMILE手术。手术患者术前滴3 d左氧氟沙星滴眼液及玻璃酸钠滴眼液,每天4次。

1.2.1.2 Pentacam检查

检查在暗室中进行,患者在自然瞳孔状态下,将下颌放置在下颌托上,前额紧贴前额带,睁开双眼注视蓝色视标。检查者使用操纵杆按电脑屏幕提示进行对焦,旋转的Scheimpflug相机在2 s内拍摄25张图像,只接受成像质量显示OK的检测结果。

1.2.1.3 有效光学区计算

以手术前后角膜地形图的切向曲率差异图显示的切削轮廓为术后的有效光学区。在差异图上移动光标定位,分别在0°-330°子午线上,每相差30°测量1次,沿子午线自中心向周边移动,当角膜曲率差值为0时,停止移动,记录该点坐标值(x,y),同一子午线另一端同样记录角膜曲率差值为0时坐标(x',y'),共记录12个值,同一子午线上半径求和, $D = \sqrt{x^2 + y^2} + \sqrt{x'^2 + y'^2}$,有效光学区直径为6条主子午线有效光学区直径的平均值,记为EOZ^[8-9]。

1.2.1.4 像差记录

Pentacam系统像差分析模式,记录角膜直径6 mm内的角膜总高阶像差(iHOA),球差(Z40),水平彗差(Z3¹),垂直彗差(Z3⁻¹),彗差记为 $\sqrt{(Z3^1)^2 + (Z3^{-1})^2}$ 。

1.2.2 手术过程

使用Visumax激光系统,能量135 nJ,扫描频率500 Hz,线点间距4.5 μm,角膜帽直径7.6 mm,厚度110-120 μm,预设光学区直径6.5 mm,透镜基底厚度10-20 μm,切口位于130°,边切角度90°,散光过渡区0.1 mm。摆正患者头位,对患者进行消毒铺巾,操作操纵杆将患者推至治疗镜下,上开睑器,嘱患者注视绿色灯,术者上升手术床,至角膜与负压吸引环接触产生水印,中心定位,当水印超过80%时,启动负压吸引并发射激光,激光扫描结束后,将患者移至观察镜下,进行透镜分离,取出透镜,完成手术。

1.2.3 术后随访及处理

术后随访1 d,1 wk,1 mo,进行裸眼视力检查,裂隙灯检查,小瞳下客观及主观验光,眼压检查,于术后1 mo行角膜地形图检查及角膜像差检查与术前进行比较。术后用药:0.5%左氧氟沙星滴眼液4次/天,1 wk;氯替泼诺混悬滴眼液6次/天,3 d,后改为4次/天,1 wk;0.3%玻璃酸钠滴眼液4次/天,1-3 mo。

统计学分析:采用统计学软件SPSS 24.0进行分析。采用均数±标准差描述数值变量,采用频数描述分类变量。采用卡方检验比较分类变量,采用配对t检验比较术前术后的数值变量,采用方差分析比较多组数值变量,进一步两两比较采用Bonferroni法;相关性分析采用Pearson相关分析进行。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 术前患者的一般情况

三组患者术前基本情况见表1。本次研究的134例患者手术顺利,无术中并发症发生,术后无感染及弥漫性角膜炎发生。

2.2 术后有效光学区比较

术后1 mo,角膜地形图切线差异图法计算有效光学区,屈光度数越高,有效光学区越小,低、中、高屈光度近视患者三组间有效光学区分别为 5.92 ± 0.47 、 5.48 ± 0.30 、 5.18 ± 0.22 mm,差异有统计学意义($F=50.315, P<0.001$);等效球镜与术后1 mo有效光学区呈正相关($r=0.686, P<0.001$),见图1。

2.3 术后1 mo像差比较

术后1 mo,三组间角膜总高阶像差、球差、彗差差异有统计学意义($F=34.457, P<0.001$; $F=40.698, P<0.001$; $F=7.480, P=0.001$);术后1 mo,除低度近视组球差术前术后差异无统计学意义外,其余三组角膜总高阶像差、球差及彗差均高于术前,差异有统计学意义(均 $P<0.05$)。术后1 mo三组的三种像差均随着矫正度数越高越大;低度近视组、中度近视组彗差与高度近视组比较,差异有统计学意义(均 $P<0.05$),低度近视组和中度近视组彗差差异无统计学意义($P>0.05$),见表2。

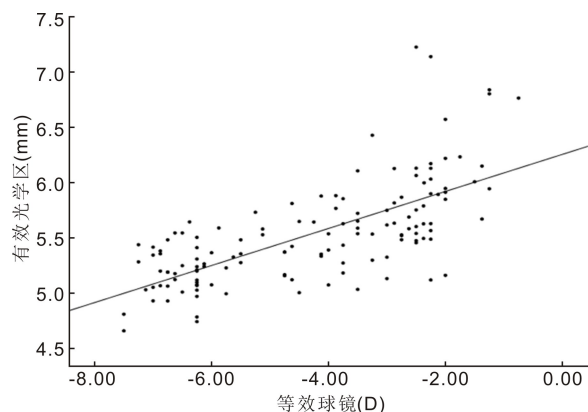


图1 术后1 mo有效光学区和等效球镜的相关性分析。

表1 三组患者术前基本情况

组别	性别(例,%)		年龄 ($\bar{x}\pm s$,岁)	球镜 ($\bar{x}\pm s$,D)	柱镜 ($\bar{x}\pm s$,D)	等效球镜 ($\bar{x}\pm s$,D)	眼压 ($\bar{x}\pm s$,mmHg)	角膜厚度 ($\bar{x}\pm s$, μm)	角膜总高阶像差 ($\bar{x}\pm s$, μm)	球差 ($\bar{x}\pm s$, μm)	总彗差 ($\bar{x}\pm s$, μm)
	男	女									
低度近视组	17(37.8)	28(62.2)	28.36 \pm 43.05	-2.03 \pm 0.29	-0.35 \pm 0.08	-2.21 \pm 0.25	15.68 \pm 6.07	549.51 \pm 944.53	0.43 \pm 0.02	0.18 \pm 0.01	0.23 \pm 0.02
中度近视组	15(32.6)	31(67.4)	28.76 \pm 31.52	-3.98 \pm 0.71	-0.5 \pm 0.21	-4.23 \pm 0.72	15.7 \pm 6.14	549.83 \pm 765.79	0.40 \pm 0.01	0.21 \pm 0.01	0.20 \pm 0.01
高度近视组	13(30.2)	30(69.8)	28.79 \pm 33.50	-6.27 \pm 0.27	-0.65 \pm 0.33	-6.59 \pm 0.16	17.36 \pm 6.66	570.07 \pm 360.07	0.39 \pm 0.01	0.19 \pm 0.01	0.19 \pm 0.01
χ^2/F	0.591		0.073	463.778	4.663	556.076	6.492	8.735	1.630	1.298	1.433
P	0.744		0.929	<0.001	0.011	<0.001	0.002	<0.001	0.200	0.277	0.242

注:低度近视组为 $SE>-3.00\text{ D}$;中度近视组为 $-6.00\text{ D}<SE\leq-3.00\text{ D}$;高度近视组为 $SE\leq-6.00\text{ D}$ 。

表2 术前和术后不同组别的角膜总高阶像差、球差、彗差

时间	角膜总高阶像差 ($\bar{x}\pm s$, μm)		
	低度近视组	中度近视组	高度近视组
术前	0.43 \pm 0.02	0.40 \pm 0.01	0.39 \pm 0.01
术后 1 mo	0.50 \pm 0.10	0.59 \pm 0.14	0.74 \pm 0.17
t	-3.228	-9.506	-11.774
P	0.002	<0.001	<0.001
时间	球差		
	低度近视组	中度近视组	高度近视组
术前	0.18 \pm 0.01	0.21 \pm 0.01	0.19 \pm 0.01
术后 1 mo	0.21 \pm 0.09	0.31 \pm 0.11	0.41 \pm 0.12
t	-1.358	-6.315	-11.545
P	0.181	<0.001	<0.001
时间	彗差		
	低度近视组	中度近视组	高度近视组
术前	0.23 \pm 0.02	0.20 \pm 0.01	0.19 \pm 0.01
术后 1 mo	0.30 \pm 0.14	0.35 \pm 0.17	0.45 \pm 0.23
t	-3.874	-6.366	-6.973
P	<0.001	<0.001	<0.001

注:低度近视组为 $SE>-3.00\text{ D}$;中度近视组为 $-6.00\text{ D}<SE\leq-3.00\text{ D}$;高度近视组为 $SE\leq-6.00\text{ D}$ 。

2.4 术后视力和屈光度情况 术后 1 mo 裸眼视力 ≥ 1.0 有 133 眼(99.3%),最佳矫正视力 ≥ 1.0 有 134(100%),术后有 108 眼(81%)等效球镜在 $-0.50-0.50\text{ D}$,术后有 126 眼(94%)散光在 $-0.50-0\text{ D}$,见图 2。

3 讨论

在本研究中,我们分析了在相同预设光学区 6.5 mm 下,屈光度高中低三组术后的有效光学区有无差异及术后像差的改变情况。有效光学区的计算有光线追踪原理的测量,像差计算方法,角膜地形图法等^[8-9]。有研究表明角膜地形图的切线差异图可以显示角膜曲率的细微变化,显示切削边界^[10-11],故本文采用的是角膜地形图切线差异图法分析术后有效光学区。

在本研究中我们发现预设光学区直径均为 6.5 mm 时,随着矫正的屈光度数越高,术后有效光学区越小,且三组差异有统计学意义($P<0.05$)。丁萱等^[12]发现,在预设光学区差异无统计学意义的高中低屈光度三组患者中,术后 1 mo 功能光学区随屈光度数越高而越小,低度近视组减少 0.78 \pm 0.72 mm,中度近视组减少 1.22 \pm 0.60 mm,高度近视组减少 1.49 \pm 0.59 mm;Fu 等^[13]同样证明随着屈光度

数的增加,功能光学区越小,低度近视组减少 0.90 \pm 0.85 mm,中度近视组减少 1.21 \pm 0.79 mm,高度近视组减少 1.63 \pm 0.49 mm;这两个研究与我们不同的是他们的预设光学区并非固定值,计算功能光学区的方法是 $\Delta 0.5\text{ D}$ 分布最大环直径,但结果趋势与我们相同;陈敬旺等^[14]将高中低度近视组行 SMILE 术后有效光学区和角膜像差进行了比较,发现术后有效光学区均小于术前预设光学区,与我们研究结果趋势相同,但术后有效光学区的减少与屈光度并无线性关系,且低度与中度组无明显差异。Hou 等^[15]将 SMILE 和飞秒激光制瓣联合准分子激光原位角膜磨镶术(FS-LASIK)术后的有效光学区与预设光学区相比发现均有减少,SMILE 组减少 1.15 \pm 0.24 mm,FS-LASIK 组减少 1.48 \pm 0.30 mm,但并未按屈光度进行分组对比。Nepomuceno 等^[16]研究发现高中低屈光度行 LASIK 术后,随屈光度增加,有效光学区减少越多,低度近视组减少 0.005 \pm 0.7 mm,中度近视组减少 0.7 \pm 0.9 mm,高度近视组减少 1.6 \pm 0.9 mm,与我们结果趋势一致,但低度近视组有效光学区与预设光学区大小差异无统计学意义,考虑此研究中手术方式与我们不同。Qian 等^[17]将距离瞳孔中心屈光力相差 1.5 D 的区域定义为功能光学区,发现术后功能光学区较术前减少,但 6.5 mm 和 6.2 mm 无差别,考虑与其功能光学区计算方法与我们不同且两组病例数差异较大有关。

我们的研究还表明,不论屈光度数高低,三组术后角膜总高阶像差、球差、彗差均较术前增加,且随着屈光度数越高,术后三种像差增加越大。与我们结果一致的研究有:Wu 等^[18]研究了 SMILE、FS-LASIK 和飞秒激光基质透镜切除术(FLEX)三种手术术后像差的改变情况,发现术后 tHOA 均有增加,尤其是彗差和球差,这与我们的研究结果一致;Zhao 等^[19]的研究表明术后 1 mo tHOA、球差、彗差均有明显增加,术后 3 mo 略有降低,但均高于术前;Fu 等^[13]研究高中低三组近视 SMILE 术后角膜像差的结果表明,高度近视组 tHOA、彗差、球差增加更多;Jin 等^[20]研究了 SMILE 术后 1、3 mo 角膜总高阶像差、角膜前表面高阶像差及角膜后表面高阶像差的变化情况,发现除了角膜后表面高阶像差手术前后无明显改变,另两种像差均有增加,且高度近视组增加大于中度近视组;Mirafteb 等^[21]研究了 SMILE、FS-LASIK 和准分子激光角膜切削术(PRK)三种手术方式的中度和高度近视组的术后像差改变情况,同样发现 SMILE 术后角膜总高阶像差、球差和彗差较术前增加且度数越高增加越大。吴艳等^[22]对比了 6.1-6.4 mm 和 6.5-6.8 mm 两组光学区 SMILE 术后角膜

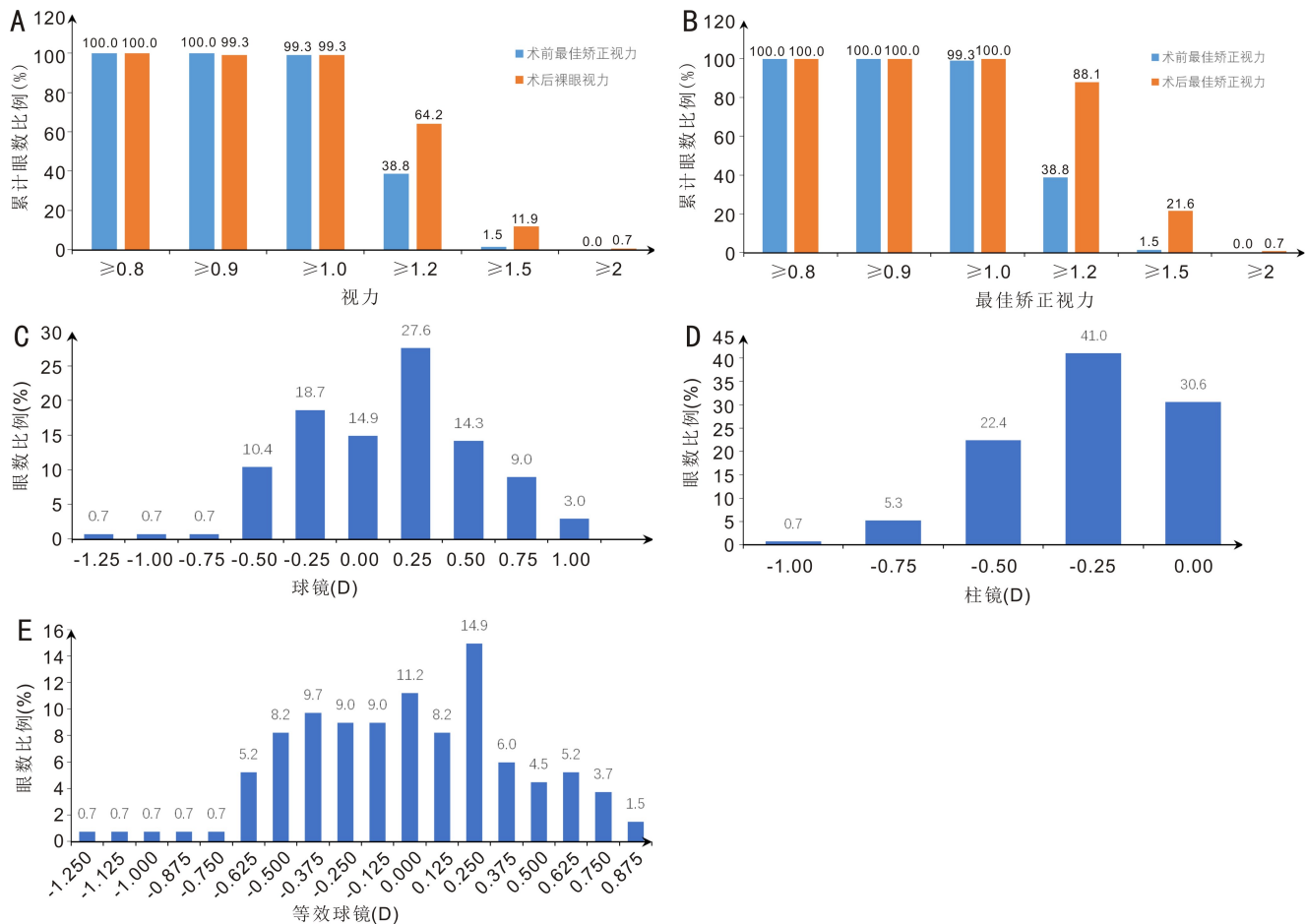


图2 术后1 mo患者视力、球镜、柱镜及等效球镜情况 A:裸眼视力;B:最佳矫正视力;C:球镜;D:柱镜;E:等效球镜。

像差的变化情况,发现不论是大气光学区还是小光学区,角膜像差的改变均不大,这与我们的研究结果不同,但有可能与他们测量像差的设备是 iTrace,与我们不同有关。

角膜屈光手术的原理是切削角膜,改变角膜曲率,达到屈光矫正的目的,为了达到最佳的视觉效果,需要考虑到角膜厚度、屈光度、术后视觉质量之间的关系。屈光度越高,角膜切削越多,角膜中央和周边的曲率差异越大,会影响术后的有效光学区^[23-25];且切削角膜越多,引起的角膜愈合反应和基质重塑效应也越大,也会导致有效光学区缩小^[26-27]。已有研究表明^[28-29],光学区大小会影响像差,术后有效光学区越小,术后角膜高阶像差越大。Wu等^[30]研究表明,SMILE术后角膜生物力学的改变对角膜像差会有一定的影响,度数越高,角膜组织切削越多,对角膜的生物力学影响更大,有可能产生更多的角膜像差。

综上所述,当需要矫正的度数越高,有效光学区会下降更多,角膜像差增加更多,视觉质量可能会受到影响,因而在手术设计时需要更大的预设光学区。在接下来的研究中我们希望能观察更长时间,比较术后像差及有效光学区随着时间推移有无改变。

参考文献

[1] Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. Small incision lenticule extraction (SMILE) history, fundamentals of a new refractive surgery technique and clinical outcomes. *Eye Vis*, 2014,1:3.
 [2] Lang M, Liu T, Zhu Y, et al. Five-year results of refractive outcomes and vision-related quality of life after SMILE for the correction

of high myopia. *Int J Ophthalmol*, 2021,14(9):1365-1370.

[3] Zhou C, Li Y, Wang YH, et al. Comparison of visual quality after SMILE correction of low-to-moderate myopia in different optical zones. *Int Ophthalmol*, 2023,43(10):3623-3632.
 [4] 侯杰,雷玉琳,郑秀云,等.角膜屈光手术光学区及有效光学区的研究进展. *国际眼科纵览*, 2018,42(4):240-244.
 [5] Moshirfar M, Herron M, Cha D, et al. Correlational analysis of the effective optical zone with myopia, myopic astigmatism, and spherical equivalent in LASIK, PRK, and SMILE. *Clin Ophthalmol*, 2024,18:377-392.
 [6] Huang YY, Ding X, Han T, et al. Effective optical zone following small incision lenticule extraction for myopia calculated with two novel methods. *J Refract Surg*, 2022,38(7):414-421.
 [7] Liu Q, Yang X, Lin L, et al. Review on centration, astigmatic axis alignment, pupil size and optical zone in SMILE. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 2019,8(5):385-390.
 [8] Tabernero J, Klyce SD, Sarver EJ, et al. Functional optical zone of the cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2007,48(3):1053-1060.
 [9] 陈弯,李莉,刘胜旭,等. SMILE与FS-LASIK术后光学区特性比较. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2020,22(5):333-340.
 [10] Roberts C. Corneal topography: a review of terms and concepts. *J Cataract Refract Surg*, 1996,22(5):624-629.
 [11] 李华,陈敏,田乐,等.飞秒激光辅助准分子激光原位角膜磨镶术后光学区变化的研究. *中华眼科杂志*, 2018,54(1):39-47.
 [12] 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.

- [13] Fu D, Wang L, Zhou XT, et al. Functional Optical Zone After Small-Incision Lenticule Extraction as Stratified by Attempted Correction and Optical Zone. *Cornea*, 2018,37:1110-1117.
- [14] 陈敬旺, 柯慧敏, 凌玲, 等. 不同程度近视患者 SMILE 术后有效光学区的研究. *国际眼科杂志*, 2021,21(11):1968-1973.
- [15] Hou J, Wang Y, Lei YL, et al. Comparison of effective optical zone after small-incision lenticule extraction and femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis for myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2018,44(10):1179-1185.
- [16] Nepomuceno RL, Boxer Wachler BS, Scruggs R. Functional optical zone after myopic LASIK as a function of ablation diameter. *J Cataract Refract Surg*, 2005,31(2):379-384.
- [17] Qian YS, Huang J, Zhou XT, et al. Corneal power distribution and functional optical zone following small incision lenticule extraction for myopia. *J Refract Surg*, 2015,31(8):532-538.
- [18] Wu WJ, Wang Y. Corneal higher-order aberrations of the anterior surface, posterior surface, and total cornea after SMILE, FS-LASIK, and FLEx surgeries. *Eye Contact Lens*, 2016,42(6):358-365.
- [19] Zhao PF, Hu YB, Wang Y, et al. Comparison of correcting myopia and astigmatism with SMILE or FS-LASIK and postoperative higher-order aberrations. *Int J Ophthalmol*, 2021,14(4):523-528.
- [20] 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):295-303.
- [21] MirafTAB M, Hashemi H, Aghamirsalim M, et al. Matched comparison of corneal higher order aberrations induced by SMILE to femtosecond assisted LASIK and to PRK in correcting moderate and high myopia: 3.00mm *vs.* 6.00mm. *BMC Ophthalmol*, 2021, 21(1):216-222.
- [22] 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.
- [23] Kyoung YS, Jae BL, Jimmy JK, et al. Comparison of higher-order aberrations after LASEK with a 6.0 mm ablation zone and a 6.5 mm ablation zone with blend zone. *J Cataract Refract Surg*, 2003,39(9):653-657.
- [24] 侯杰, 雷玉琳, 张颖, 等. 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术与经上皮准分子激光角膜切削术矫治中低度近视术后患者功能性光学区的对比研究. *眼科新进展*, 2019,39(12):1178-1181.
- [25] 潘雪珂, 陆强. 飞秒激光小切口基质透镜取出术和飞秒制瓣联合准分子激光原位角膜磨镶术术后有效光学区及角膜像差的比较. *眼科学报*, 2022,37(1):36-43.
- [26] Qian YS, Chen X, Naidu RK, et al. Comparison of efficacy and visual outcomes after SMILE and FS-LASIK for the correction of high myopia with the sum of myopia and astigmatism from -10.00 to -14.00 dioptres. *Acta Ophthalmol*, 2020,98(2):e161-e172.
- [27] He SY, Luo YQ, Chen P, et al. Prospective, randomized, contralateral eye comparison of functional optical zone, and visual quality after SMILE and FS-LASIK for high myopia. *Transl Vis Sci Technol*, 2022,11(2):13.
- [28] Liang C, Yan H. Methods of corneal vertex centration and evaluation of effective optical zone in small incision lenticule extraction. *Ophthalmic Res*, 2023,66(1):717-726.
- [29] Zhou XY, Qin B, Han T, et al. Long-term observation of higher-order aberrations and microdistortions in Bowman's layer after small incision lenticule extraction for the correcting myopia with spherical equivalent higher than -9.0 diopters. *Front Med*, 2022,9:814810.
- [30] Wu WJ, Wang Y. The correlation analysis between corneal biomechanical properties and the surgically induced corneal high-order aberrations after small incision lenticule extraction and femtosecond laser *in situ* keratomileusis. *J Ophthalmol*, 2015,2015:758196.