

网络出版时间: 2021-2-5 15:07 网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1065.R.20210205.1051.030.html>

◇技术与方法◇

四种角膜屈光手术后角膜后表面高阶像差的变化

潘善刚¹, 廖荣丰¹, 高健¹, 刘才远², 叶敏捷¹

摘要 比较准分子激光原位角膜磨镶术(LASIK)、飞秒制瓣LASIK(FS-LASIK)、波前引导LASIK(WF-LASIK)以及全飞秒激光基质内透镜取出术(SMILE)4种手术后近视患者角膜后表面高阶像差(HOA)的变化。共收集近视患者242例,其中46例行LASIK,38例行FS-LASIK,68例行WF-LASIK及90例行SMILE。分别在术前与术后6个月使用Pentacam测量每位患者右眼的HOA。高阶像差以zernike多项式进行描述,并着重分析患者角膜后表面6 mm直径中央区域的总HOA、球差(SA)、慧差、水平慧差和垂直慧差。LASIK组中,术前与术后总HOA、SA和水平慧差差异无统计学意义,但术后慧差及垂直慧差较术前增加($P < 0.01$)。FS-LASIK和WF-LASIK组中,术前与术后角膜后表面总HOA、SA及慧差之间差异有统计学意义($P < 0.05$),水平慧差及垂直慧差差异无统计学意义。此外,在SMILE术后各HOA均较术前改变。4种术式术后各HOA及变化值之间比较发现:水平慧差与垂直慧差差异有统计学意义($P < 0.01$)。与FS-LASIK和WF-LASIK相比,SMILE引起水平慧差负移($P < 0.01$),垂直慧差增加($P < 0.01$)。LASIK与其他组各HOA变化值的比较中差异无统计学意义。SMILE手术患者角膜后表面水平慧差及垂直慧差变化较大,因此FS-LASIK与WF-LASIK在中心切削准确性方面可能优于SMILE。

关键词 屈光手术;角膜磨镶术;飞秒;高阶像差

中图分类号 R 779.63

文献标志码 A **文章编号** 1000-1492(2021)03-0486-04
doi: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2021.03.030

随着屈光手术领域的飞速发展,从传统的准分子激光原位角膜磨镶术(laser in situ keratomileusis, LASIK),到波前引导LASIK(wavefront-guided LASIK, WF-LASIK),再到飞秒激光技术在角膜屈光手术中的应用,飞秒制瓣LASIK(femtosecond laser-assisted LASIK, FS-LASIK)及全飞秒激光基质内透

镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE)成为当下热门的矫正屈光不正的方式^[1]。目前,角膜屈光手术因其高效、安全、准确及良好的可预测性等优点,成为国内近视患者矫正屈光不正的主要术式^[2]。然而上述术式可能诱发高阶像差(higher-order aberrations, HOA)变化导致患者视觉质量下降。

由于直接受到角膜屈光手术的影响,角膜前表面HOA变化是眼球整体HOA变化的关键部分。因此角膜后表面HOA变化的报道较为少见。然而已有文献^[3]提示角膜屈光手术可引起角膜后表面前移,导致HOA的改变。同时角膜后表面的HOA在控制角膜HOA的变化,尤其是抵消角膜前表面HOA扮演着重要角色^[4]。但目前尚未见比较上述4种主流术式术后角膜后表面HOA变化的报道,故该研究利用Pentacam测量及比较术后角膜后表面HOA的变化。

1 材料与方法

1.1 研究对象 该研究收集于2019年4—7月在中国科学技术大学医院进行角膜屈光手术的近视患者共242例,其中46例行LASIK,38例行FS-LASIK,68例行WF-LASIK及90例行SMILE。4组的患者术前的临床基本信息及各高阶像差的比较见表1。组间平均年龄、等效球镜(spherical equivalent, SE)及术前角膜后表面各HOA(总HOA、SA、慧差、水平慧差与垂直慧差)差异均无统计学意义。

1.2 术前检查 所有患者术前均进行常规眼科检查,包括医学验光、泪膜影像分析、角膜超声测厚、眼压和Pentacam(德国Oculus公司)等检查。所有患者均根据以下纳入标准进行选择:年龄至少18岁以上、屈光度数稳定1年以上、最佳矫正视力优于20/25、SE小于-10.0 D等。排除标准包括:屈光手术史、既往角膜病、青光眼、白内障、视网膜疾病或弱视等眼科相关病史,以及糖尿病和结缔组织疾病等全身性疾病史^[5]。

1.3 手术方法 术前常规冲洗患者结膜囊,消毒铺巾,使用4%盐酸丙美卡因滴眼液进行表面麻醉,术

2020-09-10 接收

基金项目:国家自然科学基金(编号:81700856)

作者单位:¹安徽医科大学第一附属医院眼科,合肥 230022

²中国科学技术大学医院眼科,合肥 230026

作者简介:潘善刚,男,硕士研究生;

廖荣丰,男,教授,主任医师,博士生导师,责任作者, E-mail: liaorayfy@126.com

前行眼睑贴膜并撑开眼睑手术。LASIK 及 WF-LASIK 术均采用美国威视 VISX S4 型准分子激光系统完成,其中 WF-LASIK 术中进行波前引导及虹膜定位。FS-LASIK 利用蔡司公司 VisuMax 飞秒激光系统进行角膜瓣的制作,再进行 VISX S4 行角膜基质层切削。SMILE 同样利用德国蔡司公司 VisuMax 系统完成。手术均由一位高年资技术熟练的医师完成。

1.4 高阶像差测量 Oculus Pentacam HR(Oculus Inc) 是一种非侵入性的,基于 Scheimpflug 摄像技术的眼前节全景仪检查系统。其在屈光手术术前对患者眼前节全面评估中具有优越的可重复性。因此,该研究选择 Pentacam 在直径 6.0 mm 的中央角膜区域测量术前和术后 6 个月的角膜后表面的 HOA。患者通过 Pentacam 检查 2 s 完成眼前节 360 度扫描并获得 50 张裂隙灯图像,系统将所有图像中的矩阵数据点合成三维 Scheimpflug 图像。Pentacam 系统软件将获得的数据通过 Zernike 多项式运算获得角

膜后表面高阶像差。该研究将收集 8 阶 44 项波前像差的均方根数值。该研究测量及评估的 HOA 主要包括总 HOA、球面像差(SA)、慧差、水平慧差及垂直慧差。收集 Pentacam 系统提示“OK”的测量结果,每只眼测量 5 次并取平均值。

1.5 统计学处理 该研究利用 SPSS 26.0 软件分析数据。考虑到患者双眼在屈光度和生物特征参数方面具有高度相关性,因此该研究仅收集患者右眼的数据。所有数据均经过正态分布检验,提示正态分布,故所有数据均以 $\bar{x} \pm s$ 表示。4 组高阶像差之间使用单因素方差分析(ANOVA)进行比较,并利用 Bonferroni 检验进行多重比较。配对的样本 t 检验被用于比较术前和术后角膜后 HOA。HOA 变化值计算为术前和术后值之间的差值。 P 值小于 0.05 被认为差异有统计学意义。

2 结果

4 种手术前及术后 6 个月角膜后表面中央 6

表 1 四种手术纳入患者术前基本信息及各高阶像差的比较($\bar{x} \pm s$)

参数	LASIK	FS-LASIK	WF-LASIK	SMILE	F 值	P 值
n	46	38	68	90		
年龄(岁)	25.217 $\pm$ 4.970	24.158 $\pm$ 3.949	24.000 $\pm$ 3.962	24.844 $\pm$ 4.298	0.988	0.399
SE	-5.045 $\pm$ 1.621	-5.809 $\pm$ 2.245	-5.007 $\pm$ 1.291	-5.321 $\pm$ 1.697	2.593	0.053
HOA(μm)						
总 HOA	0.066 $\pm$ 0.008	0.063 $\pm$ 0.008	0.068 $\pm$ 0.009	0.065 $\pm$ 0.010	2.218	0.087
球差	-0.168 $\pm$ 0.023	-0.162 $\pm$ 0.025	-0.168 $\pm$ 0.024	-0.164 $\pm$ 0.029	0.660	0.577
慧差	0.038 $\pm$ 0.019	0.040 $\pm$ 0.022	0.041 $\pm$ 0.022	0.036 $\pm$ 0.022	0.644	0.588
水平慧差	0.001 $\pm$ 0.020	-0.003 $\pm$ 0.025	-0.003 $\pm$ 0.024	-0.002 $\pm$ 0.021	0.342	0.795
垂直慧差	-0.003 $\pm$ 0.038	0.006 $\pm$ 0.038	-0.007 $\pm$ 0.039	0.004 $\pm$ 0.037	1.271	0.285

SE: 等效球镜; HOA: 高阶像差

表 2 四种术式术前及术后 6 个月角膜后表面高阶像差的比较($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

术式	总 HOA	球差	慧差	水平慧差	垂直慧差
LASIK					
术前	0.066 $\pm$ 0.008	-0.168 $\pm$ 0.023	0.038 $\pm$ 0.019	0.001 $\pm$ 0.020	-0.003 $\pm$ 0.038
术后 6 个月	0.067 $\pm$ 0.009	-0.171 $\pm$ 0.025	0.044 $\pm$ 0.023	-0.002 $\pm$ 0.032*	0.001 $\pm$ 0.039 [#]
P 值	0.188	0.260	0.049	0.423	<0.001
FS-LASIK					
术前	0.063 $\pm$ 0.008	-0.162 $\pm$ 0.025	0.040 $\pm$ 0.022	-0.003 $\pm$ 0.025	0.006 $\pm$ 0.038
术后 6 个月	0.070 $\pm$ 0.009	-0.173 $\pm$ 0.022	0.053 $\pm$ 0.028	0.001 $\pm$ 0.034*	0.005 $\pm$ 0.050 [#]
P 值	<0.001	<0.001	0.001	0.394	0.870
WF-LASIK					
术前	0.068 $\pm$ 0.009	-0.168 $\pm$ 0.024	0.041 $\pm$ 0.022	-0.003 $\pm$ 0.024	-0.007 $\pm$ 0.039
术后 6 个月	0.074 $\pm$ 0.020	-0.176 $\pm$ 0.025	0.049 $\pm$ 0.029	0.001 $\pm$ 0.035*	-0.009 $\pm$ 0.044 [#]
P 值	0.015	<0.001	0.004	0.175	0.516
SMILE					
术前	0.065 $\pm$ 0.010	-0.164 $\pm$ 0.029	0.036 $\pm$ 0.022	-0.002 $\pm$ 0.021	0.004 $\pm$ 0.037
术后 6 个月	0.069 $\pm$ 0.012	-0.169 $\pm$ 0.031	0.048 $\pm$ 0.025	-0.015 $\pm$ 0.030*	0.021 $\pm$ 0.037 [#]
P 值	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001

与术后水平慧差比较: * $P < 0.05$; 与术后垂直慧差比较: [#] $P < 0.05$

表3 四种手术各高阶像差变化值之间的比较($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

变化值	LASIK	FS-LASIK	WF-LASIK	SMILE	F 值	P 值
总 HOA	0.002 ± 0.008	0.006 ± 0.009	0.006 ± 0.019	0.004 ± 0.010	1.362	0.255
球差	-0.003 ± 0.017	-0.011 ± 0.017	-0.009 ± 0.012	-0.005 ± 0.014	2.638	0.050
慧差	0.007 ± 0.023	0.013 ± 0.023	0.009 ± 0.024	0.012 ± 0.023	0.700	0.553
水平慧差	-0.003 ± 0.025	0.003 ± 0.025	0.005 ± 0.028	-0.013 ± 0.025	7.450	<0.001
垂直慧差	0.004 ± 0.025	-0.001 ± 0.025	-0.003 ± 0.038	0.017 ± 0.026	7.174	<0.001

mm 直径各 HOA 及比较结果见表 2。组内比较: 在 LASIK 组中, 术前与术后总 HOA、SA 和水平慧差差异无统计学意义, 但是术后慧差及垂直慧差较术前增加差异有统计学意义 ($P < 0.01$)。在 FS-LASIK 和 WF-LASIK 组中, 术前与术后角膜后表面总 HOA、SA 及慧差之间差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 水平慧差及垂直慧差差异无统计学意义。此外, 在 SMILE 术后各 HOA 均较术前改变。组间比较: 4 组术后各 HOA 之间仅水平慧差及垂直慧差差异有统计学意义 ($P < 0.01$), 总 HOA、SA 及慧差差异无统计学意义。

4 种术式各 HOA 变化值及组间比较结果见表 3。与各组间术后高阶像差比较结果相似, 仅水平慧差与垂直慧差变化值差异有统计学意义 ($P < 0.01$)。通过 Bonferroni 检验进行多重比较发现: 与 FS-LASIK 和 WF-LASIK 比较, SMILE 引起的水平慧差负移 ($P < 0.01$), 垂直慧差增加 ($P < 0.01$)。LASIK 与其他组各 HOA 变化值的比较中差异无统计学意义。

3 讨论

Sekundo et al^[6] 运用并完成角膜屈光手术, 飞秒激光在角膜屈光手术领域的普及与发展速度惊人, 给广大中国的屈光不正人群带来惊喜与福音, 中国屈光手术领域迎来飞秒时代^[7]。作为飞秒激光的经典术式, FS-LASIK 与 SMILE 在矫正屈光不正术后视力、屈光状态、对比敏感度、角膜生物力学以及高阶像差等方面仍存在争议。因二者都存在着各自的优势与缺点, 故对比 FS-LASIK 与 SMILE 特性是当今屈光领域热门话题。同时, 评价屈光手术角膜后表面高阶像差变化的报道较少, 因此本研究收集了选择当下主流屈光手术术式 (LASIK、WF-LASIK、FS-LASIK 及 SMILE) 的近视患者, 利用 Pentacam 测量患者角膜后表面 HOA 的变化并进行对比, 结果显示 WF-LASIK、FS-LASIK 及 SMILE 术后总 HOA、SA 及慧差均较术前改变, 术后 4 组之间总 HOA、SA 及慧差无差异, 但在诱导水平慧差及垂直慧差变化方

面, SMILE 高于其他术式。

将角膜屈光手术带入小切口、微创、无瓣领域的 SMILE, 具有更好的角膜生物力学的维持和角膜前表面的完整性^[8]。避免了因制瓣而产生的角膜瓣偏移、回缩等手术并发症^[9]。Wu et al^[10] 收集 FS-LASIK 及 SMILE 术式近视患者右眼数据并进行分析, 结果显示 SMILE 组角膜后表面水平慧差低于 WF-LASIK 组, 角膜后表面其他高阶像差 2 组差异无统计学意义。该研究表明角膜生物力学等变化与术后角膜高阶像差存在相关性, SMILE 手术对角膜生物力学的影响较少是水平慧差较低的原因之一。但 Li et al^[11] 研究表明 SMILE 术后近视患者整体角膜及角膜后表面球差变化比 FS-LASIK 手术更加稳定。然而本研究表明 SMILE 术后患者角膜后表面水平慧差及垂直慧差改变, 可能与以下几点因素有关: 眼睛的水平慧差及垂直慧差代表着屈光介质不对称性的特征, 也包括屈光介质的不规则、倾斜和偏心性。当 SMILE 矫正散光时, 患者角膜基质中会切削一个后表面为椭圆形的小透镜, 在陡峭轴位上的劈开面直径小于平坦轴位上的直径^[12], 从角膜中提取椭圆形微透镜可能是 SMILE 手术中不对称的重要来源之一。WF-LASIK 等手术的光学区周围存在过渡区, 而 SMILE 术屈光透镜的垂直边缘也可能增加术后的水平慧差及垂直慧差。WF-LASIK 的手术设计目的是通过波前像差引导补偿与抵消术后高阶像差的变化, 故该术式在术后各高阶像差的变化上存在优势。SMILE 无法配备虹膜跟踪定位技术用于术中补偿瞳孔旋扭和偏移等, 这也可能是导致术后诱导高阶像差的原因之一。若存在 SMILE 术后角膜前表面的高阶像差变化较大的情况下, 角膜愈合恢复的过程中, 角膜后表面会通过自身的像差变化来抵消与补偿前表面诱发的高阶像差, 这样也可能导致术后高阶像差的波动。虽然术前 4 组 SE 之间比较差异无统计学意义 ($P = 0.053$), 但 SMILE 组的 SE 高于其他 3 组, 较多基质的切削厚度亦可导致角膜高阶像差的变化。

参考文献

- [1] Kim T I , Alió Del Barrio J L , Wilkins M. Refractive surgery [J]. *Lancet* , 2019 , 393(10185) : 2085 – 98.
- [2] Murueta-Goyena A , Cañadas P. Visual outcomes and management after corneal refractive surgery: a review [J]. *J Optom* , 2018 , 11 (2) : 121 – 9.
- [3] Lee M J , Lee S M , Lee H J , et al. The changes of posterior corneal surface and high-order aberrations after refractive surgery in moderate myopia [J]. *Korean J Ophthalmol* , 2007 , 21(3) : 131 – 6.
- [4] Gatinel D , Adam P A , Chaabouni S , et al. Comparison of the corneal and total ocular aberrations before and after myopia LASIK [J]. *J Refract Surg* , 2010 , 26(5) : 333 – 40.
- [5] 鲍伟利, 高 健, 廖荣丰. 运用光学相干断层扫描血管成像技术分析无眼底病变的糖尿病患者黄斑区变化 [J]. *安徽医科大学学报* , 2019 , 54(7) : 1123 – 6.
- [6] Sekundo W , Kunert K , Russmann C , et al. First efficacy and safety study of femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia: six-month results [J]. *J Cataract Refract Surg* , 2008 , 34 (9) : 1513 – 20.
- [7] Moussa S , Dietrich M , Lenzhofer M , et al. Femtosecond laser in refractive corneal surgery [J]. *Photochem Photobiol Sci* , 2019 , 18 (7) : 1669 – 74.
- [8] Blum M , Lauer A S , Kunert K S , et al. 10-year results of small incision lenticule extraction [J]. *J Refract Surg* , 2019 , 35(10) : 618 – 23.
- [9] Gyldenkerne A , Ivarsen A , Hjortdal J. Optical and visual quality after small-incision lenticule extraction [J]. *J Cataract Refract Surg* , 2019 , 45(1) : 54 – 61.
- [10] Wu W , 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]. *J Ophthalmol* , 2015 , 2015: 758196.
- [11] Li X , Wang Y , Dou R. Aberration compensation between anterior and posterior corneal surfaces after small incision lenticule extraction and femtosecond laser-assisted laser in-situ keratomileusis [J]. *Ophthalmic Physiol Opt* , 2015 , 35(5) : 540 – 51.
- [12] Shah R , Shah S , Sengupta S. Results of small incision lenticule extraction: all-in-one femtosecond laser refractive surgery [J]. *J Cataract Refract Surg* , 2011 , 37(1) : 127 – 37.

The changes of posterior corneal higher-order aberrations in myopia eyes after four refractive surgeries

Pan Shangang , Liao Rongfeng , Gao Jian , et al

(*Dept of Ophthalmology , The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University , Hefei 230022*)

Abstract To compare the change of posterior corneal higher-order aberrations (HOA) of myopic eyes after four refractive surgeries including laser in situ keratomileusis (LASIK) , femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis (FS-LASIK) , wavefront-guided LASIK with iris registration (WF-LASIK) , and small incision lenticule extraction (SMILE) . A total of 242 subjects (46 subjects underwent LASIK , 38 subjects underwent FS-LASIK , 68 subjects underwent WF-LASIK , and 90 subjects underwent SMILE) were involved. HOAs of each patient's right eye were measured with Pentacam device preoperatively and 6 months after surgery. The aberrations were described as zernike polynomials , and analysis was focused on total HOAs , spherical aberration (SA) , coma , horizontal coma , and vertical coma over 6 mm diameter central corneal zone. In LASIK group , pre- and postoperative total HOA , SA and horizontal coma were not statistically significantly different , but postoperative coma and vertical coma were significantly different ($P < 0.01$) . In FS- and WF-LASIK groups , significant differences were found in the total HOA , SA and coma ($P < 0.05$) while no difference was found in the horizontal coma and vertical coma. In addition , all HOAs were found to have significant differences between pre- and postoperative SMILE procedure ($P < 0.01$) . The result showed that SMILE induced significantly negative shift in horizontal coma compared with FS-LASIK and WF-LASIK ($P < 0.01$) . Meanwhile , SMILE group also had a significant increase in vertical coma compared with FS-LASIK and WF-LASIK ($P < 0.01$) . In LASIK and the other groups , induced total HOAs , SA , coma , horizontal coma and vertical coma were all comparable. SMILE induced more horizontal coma and vertical coma compared with FS-LASIK and WF-LASIK , indicating that the centration of SMILE procedure is probably less precise.

Key words refractive surgery; keratomileusis; femtosecond laser; higher-order aberrations