

· 临床研究 ·

智能脉冲技术的 Trans-PRK 矫正近视散光术后角膜形态及视觉质量观察

杜玉芹 周春阳 周跃华 李羽 苏丹

成都中医药大学眼科学院 成都中医大银海眼科医院 中医药眼病防治与视功能保护四川省重点实验室, 成都 610036

通信作者: 周跃华, Email: YH06236677@163.com

【摘要】 目的 观察智能脉冲技术(SPT)及 1 050 Hz 切削频率的经上皮准分子激光角膜切削术(Trans-PRK)矫正近视散光术后对角膜形态和视觉质量的影响。**方法** 采用自身对照病例系列研究方法,选择 2017 年 7 月至 2018 年 6 月在成都中医大银海眼科医院行 Trans-PRK 手术的近视散光患者 33 例 65 眼,随访时间为 6 个月,记录裸眼视力(UCVA)(LogMAR)、最佳矫正视力(BCVA)(LogMAR)和等效球镜度(SE)。使用 Sirius 角膜地形图分析仪记录手术前后角膜前表面对称指数(SI)、6、7、8、9 mm 直径范围下的角膜前表面 Q 值、前表面球差、彗差、三叶草和总高阶像差,斯特尔比率(SR),水平和垂直子午线方向 10、20、30、40 c/d 的调制传递函数(MTF),并比较不同时间点各指标差异。各指标相关性分析采用 Pearson 相关分析。**结果** 术前 BCVA 为 -0.09 ± 0.06 , 术后 7 d、1 个月、3 个月、6 个月 UCVA 分别为 -0.10 ± 0.08 、 -0.12 ± 0.06 、 -0.16 ± 0.06 、 -0.18 ± 0.05 ; 术前 SE 为 (-4.24 ± 1.24) D, 术后 7 d、1 个月、3 个月、6 个月 SE 分别为 (0.03 ± 0.63) 、 (0.08 ± 0.53) 、 (0.02 ± 0.79) 、 (0.08 ± 0.37) D。术后不同时间点角膜前表面 SI 值均高于术前,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。术后 1、3 个月和 6 个月不同直径范围的角膜前表面 Q 值均较术前明显增加,由负值变为正值,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。术后各时间点角膜前表面三叶草、总高阶像差均较术前增加,术后 7 d、6 个月的彗差明显高于术前值,术后 3 个月、6 个月的球差明显高于术前值,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。术后 3 个月、6 个月 SR 均较术前值明显增加,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。术后 6 个月,水平子午线不同空间频率 MTF 值均较术前降低,垂直子午线 30、40 c/d 空间频率 MTF 值较术前降低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。相关性分析结果显示,术后 6 个月不同直径范围 Q 值与球差($r = 0.798 \sim 0.925$, $P < 0.05$)、总高阶像差($r = 0.596 \sim 0.630$, $P < 0.05$)、SI($r = 0.235 \sim 0.303$, $P < 0.05$)、角膜切削深度($r = 0.583 \sim 0.659$, $P < 0.05$)均呈正相关;SI 与球差($r = 0.307$, $P < 0.05$)、彗差($r = 0.424$, $P < 0.05$)、总高阶像差($r = 0.300$, $P < 0.05$)、角膜切削深度($r = 0.227$, $P < 0.05$)、偏心切削量($r = 0.281$, $P < 0.05$)呈正相关;SR 与像差、角膜切削深度、偏心切削量等均无明显相关性(均 $P \geq 0.05$)。**结论** 使用 SPT 的 Trans-PRK 术矫正近视散光术后视力提高、屈光度稳定、视网膜成像质量提升,而角膜前表面的非对称性增大,并引入不同程度的高阶像差。

【关键词】 屈光手术; 屈光不正; 经上皮, 准分子激光; 角膜像差**基金项目:** 成都中医药大学“杏林学者”青年教师创新专项项目(ZRQN2019001)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20190924-00413

Corneal morphology and visual quality observation after Trans-PRK with smart pulse technology in the correction of myopia and astigmatism

Du Yuqin, Zhou Chunyang, Zhou Yuehua, Li Yu, Su Dan

Eye School of Chengdu University of TCM, Ineye Hospital of Chengdu University of TCM, Key Laboratory of Sichuan Province Ophthalmopathy Prevention & Cure and Visual Function Protection with TCM, Chengdu 610036, China

Corresponding author: Zhou Yuehua, Email: YH06236677@163.com

【Abstract】 Objective To observe the corneal morphology and visual quality after transepithelial photorefractive keratectomy (Trans-PRK) with smart pulse technique (SPT) and 1 050 Hz cutting frequency in the correction of myopia and astigmatism. **Methods** A self-controlled case series study was conducted. Sixty five eyes of 33 patients who underwent Trans-PRK surgery in Ineye Hospital of Chengdu University of TCM from July 2017 to

June 2018 were followed up for 6 months. The uncorrected visual acuity (UCVA) converted to logarithm of the minimum angle of resolution (LogMAR) unit, best corrected visual acuity (BCVA) (LogMAR), and spherical equivalent (SE) of the subjects were recorded. The anterior corneal surface symmetry index (SI), the anterior corneal surface Q value in the range of 6, 7, 8, and 9 mm diameter, the spherical aberration, coma, trefoil and total higher-order aberration of the anterior corneal surface, the strehl ratio (SR), and the modulation transfer function (MTF) of 10, 20, 30, and 40 c/d in the horizontal and vertical meridian directions before and after surgery were measured with Sirius corneal topography analyzer. The differences of each index among different time points were compared, and the correlation between indexes was analyzed by Pearson correlation analysis. This study followed the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Medical Ethics Committee of Ineye Hospital of Chengdu University of TCM (No. 2020yh-004). All patients signed the informed consent form before surgery. **Results** The average preoperative BCVA and SE were -0.09 ± 0.06 and (-4.24 ± 1.24) D. The mean UCVA and SE at 7 days, 1, 3 and 6 months postoperatively were -0.10 ± 0.08 and (0.03 ± 0.63) D, -0.12 ± 0.06 and (0.08 ± 0.53) D, 1.16 ± 0.06 and (0.02 ± 0.79) D, -0.18 ± 0.05 and (0.08 ± 0.37) D, respectively. The SI at different time points after the surgery were significantly higher than that before operation (all at $P < 0.05$). At 1, 3 and 6 months after surgery, the Q value of anterior corneal surface in different diameter ranges increased from negative to positive, showing statistically significant differences (all at $P < 0.05$). At each time point after surgery, the trefoil and total higher-order aberrations of the anterior corneal surface increased to varying degrees. Coma at 7 days and 6 months after surgery were significantly higher than that before surgery, and spherical aberration at 3 and 6 months after surgery were significantly higher than that before surgery (all at $P < 0.05$). The SR values at 3 and 6 months after operation were significantly higher than that before operation (all at $P < 0.05$). At 6 months after operation, the MTF values at different spatial frequencies of the horizontal meridian and the MTF values at 30 and 40 c/d spatial frequencies of the vertical meridian were lower than those before operation, and the differences were statistically significant (all at $P < 0.05$). The correlation analysis showed that the Q value of different diameter ranges was positively correlated with spherical aberration ($r = 0.798 - 0.925, P < 0.05$), total higher-order aberration ($r = 0.596 - 0.630, P < 0.05$), SI ($r = 0.235 - 0.303, P < 0.05$) and corneal ablation depth ($r = 0.583 - 0.659, P < 0.05$) at 6 months after surgery. SI was positively correlated with spherical aberration ($r = 0.307, P < 0.05$), coma ($r = 0.424, P < 0.05$), total higher-order aberration ($r = 0.300, P < 0.05$), corneal ablation depth ($r = 0.227, P < 0.05$), and eccentric cutting amount ($r = 0.281, P < 0.05$). There was no correlation between SR and aberration, corneal ablation depth, eccentric cutting amount, etc. (all at $P \geq 0.05$). **Conclusions** Trans-PRK using SPT to correct myopic astigmatism can improve vision, stabilize diopter, enhance retinal imaging quality, increase the asymmetry of the anterior corneal surface, and introduce different degrees of higher-order aberrations.

[Key words] Refractive surgery; Refractive errors; Transepithelial, photorefractive; Corneal aberration

Fund program: Chengdu University of TCM Xinglin Scholar Young Teacher Innovation Project (ZRQN2019001)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20190924-00413

经上皮准分子激光角膜切削术 (transepithelial photorefractive keratectomy, Trans-PRK) 在矫正屈光不正方面的临床效果已得到广泛认可, 大部分患者术后视力恢复较好, 但仍有部分患者出现光晕、眩光、夜间视力下降等不良视觉症状^[1], 因此角膜屈光手术术后视觉质量的变化越来越受到重视。目前, 智能脉冲技术 (smart pulse technology, SPT) 和 1 050 Hz 的切削频率新型技术已应用到 Trans-PRK 术式中, 具有较好的安全性和有效性, 并取得了令人满意的临床效果^[2-4]。然而, 关于 SPT 的 Trans-PRK 矫正近视散光术后角膜形态及视觉质量的研究相对较少。本研究拟观察近视

散光患者 SPT 及 1 050 Hz 切削频率的 Trans-PRK 矫正术前及术后角膜形态和视觉质量变化, 并探讨术后角膜形态与视觉质量的相关性, 为其临床应用提供一定的指导依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用自身对照病例系列研究方法, 选择 2017 年 7 月至 2018 年 6 月在成都中医大银海眼科医院行 Trans-PRK 手术的近视散光患者 33 例 65 眼, 其中男 14 例 28 眼, 女 19 例 37 眼; 年龄 18 ~ 37 岁, 平均

(24.37 ± 5.93) 岁;等效球镜度 (spherical equivalent, SE) $-1.83 \sim -6.56$ D, 平均 (-4.24 ± 1.24) D; 术前平均角膜厚度 (542.31 ± 25.17) μm , 最佳矫正视力 (best corrected visual acuity, BCVA) (LogMAR) 均值为 -0.09 ± 0.06 。纳入标准: 年龄 ≥ 18 周岁; 2 年内屈光度相对稳定, 即每年屈光度增长 < 0.5 D; 软性角膜接触镜停戴 2 周以上, 硬性高透氧性角膜接触镜停戴 1 个月以上, 角膜塑形镜停戴 3 个月以上; 无圆锥角膜等其他眼部及全身手术禁忌证。本研究遵循《赫尔辛基宣言》, 研究方案经成都中医大银海眼科医院医学伦理委员会审核批准 (批文号: 2020yh-004)。患者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 角膜地形图测量 使用 Sirius 角膜地形图分析仪 (意大利 CSO 公司), 于自然瞳孔状态下, 嘱患者瞬目后睁大双眼, 充分暴露角膜, 注视正前方 Placido 盘中央红色指示灯, 对焦完毕后, 应用 Scheimpflug 摄像机于 2 s 内进行 360° 旋转摄像, 获取多幅眼前节图像, 形成三维眼前节立体图, 每眼重复测量 3 次, 选取成像质量大于 95% 的测量结果对角膜进行分析。分别记录角膜前表面对称指数 (symmetry index, SI), 6、7、8、9 mm 直径范围下的角膜前表面 Q 值, 6 mm 角膜直径下角膜前表面球差、彗差、三叶草和总高阶像差均方根值, 斯特尔比率 (strehl ratio, SR), 水平和垂直子午线方向 10、20、30、40 c/d 的调制传递函数 (modulation transfer function, MTF) 值。

1.2.2 手术方法 所有患者手术均由同一熟练掌握 Trans-PRK 术式的医师完成。采用切削频率为 1 050 Hz 的阿玛仕准分子激光系统 (德国 Schwind 公司), SPT 引导的消像差 Trans-PRK 切削模式。光学切削区直径设计参考暗视下瞳孔直径和屈光度, 设置为 6.3~7.3 mm。术眼常规冲洗结膜囊, 眼部消毒, 用盐酸丙美卡因滴眼液点眼行角膜表面麻醉, 开睑器撑开眼睑, 海绵擦干角膜周围液体。中心定位瞄准光对准角膜, 踩下脚踏, 启动准分子激光器, 一步完成角膜组织的消融切削。术毕用 4 $^\circ\text{C}$ 的平衡盐溶液冲洗角膜基质床, 佩戴角膜绷带镜。

1.2.3 随访观察 分别于术前、术后 7 d 及 1 个月、3 个月、6 个月

对所有患者进行随访观察, 随访率为 100%。检测术眼裸眼视力 (uncorrected visual acuity, UCVA)、屈光度数、BCVA、角膜前表面 SI 值、Q 值、像差均方根值、SR 值和 MTF 值。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 17.0 统计学软件进行统计分析, 计量资料数据经 Shapiro-Wilk 检验证实符合正态分布, 用 $\bar{x} \pm s$ 表示。术前及术后各时间点角膜前表面 SI 值、Q 值、像差均方根、SR 值差异比较采用重复测量单因素方差分析, 组间多重比较采用 LSD-*t* 检验; 水平和垂直各空间频率下 MTF 值的总体差异比较采用重复测量单因素方差分析, 组间多重比较采用 Dunnett *t* 检验; 各指标相关性分析采用 Pearson 相关分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 手术前后视力和屈光度变化

术前 BCVA (LogMAR) 为 -0.09 ± 0.06 , 术后 7 d、1 个月、3 个月和 6 个月 UCVA (LogMAR) 分别为 -0.10 ± 0.08 、 -0.12 ± 0.06 、 -0.16 ± 0.06 和 -0.18 ± 0.05 ; 术前 SE 为 (-4.24 ± 1.24) D, 术后 7 d、1 个月、3 个月和 6 个月 SE 分别为 (0.03 ± 0.63)、(0.08 ± 0.53)、(0.02 ± 0.79) 和 (0.08 ± 0.37) D。

2.2 手术前后角膜前表面 SI 及不同角膜直径范围 Q 值比较

手术前后角膜前表面 SI 总体比较, 差异有统计学意义 ($F = 5.977, P < 0.001$); 术后不同时间点角膜前表面 SI 值均高于术前, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$) (表 1)。

表 1 Trans-PRK 术前及术后各时间点角膜前表面 SI 及不同直径范围 Q 值比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 1 Comparison of SI of anterior corneal surface and Q value in different diameter ranges between before and after Trans-PRK ($\bar{x} \pm s$)

时间	眼数	SI (D)	不同直径范围 Q 值			
			6 mm	7 mm	8 mm	9 mm
术前	65	0.29 ± 0.47	-0.10 ± 1.34	-0.12 ± 0.13	-0.17 ± 0.12	-0.22 ± 0.12
术后 7 d	65	0.54 ± 1.11^a	-0.04 ± 0.60	0.12 ± 0.54^a	0.33 ± 0.46^a	0.40 ± 0.40^a
术后 1 个月	65	0.50 ± 0.85^a	0.04 ± 0.48^a	0.19 ± 0.51^a	0.41 ± 0.45^a	0.49 ± 0.38^a
术后 3 个月	65	0.52 ± 0.76^a	0.11 ± 0.47^a	0.22 ± 0.49^a	0.40 ± 0.45^a	0.45 ± 0.40^a
术后 6 个月	65	0.70 ± 0.76^a	0.24 ± 0.46^a	0.34 ± 0.46^a	0.46 ± 0.41^a	0.48 ± 0.35^a
F 值		5.977	12.237	26.316	100.956	195.768
P 值		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

注: 与各自的术前测量值比较, $^a P < 0.05$ (重复测量单因素方差分析, LSD-*t* 检验) Trans-PRK: 经上皮准分子激光角膜切削术; SI: 对称指数

Note: Compared with respective preoperative measurements, $^a P < 0.05$ (One-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) Trans-PRK: transepithelial photorefractive keratectomy; SI: symmetry index

手术前后角膜前表面 6、7、8、9 mm 直径范围 Q 值总体比较差异有统计学意义 ($F = 12.237, 26.316, 100.956, 195.768$, 均 $P < 0.001$)。术后 1 个月、3 个月和 6 个月 6 mm 直径范围 Q 值为正值, 较术前均明显增加, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。7、8、9 mm 直径范围的角膜前表面 Q 值术后 7 d、1 个月、3 个月和 6 个月 Q 值为正值, 较术前均明显增加, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$) (表 1)。

2.3 手术前后 SR 及角膜前表面像差比较

手术前后各时间 SR 总体比较, 差异有统计学意义 ($F = 12.023, P < 0.001$); 术后 3 个月和 6 个月 SR 值较术前明显增加, 差异有统计学意义 (均 $P < 0.05$) (表 2)。

手术前后各时间 6 mm 瞳孔直径下角膜前表面球差、彗差、三叶草、总高阶像差均方根值总体比较, 差异均有统计学意义 ($F = 11.508, 4.962, 7.420, 16.709$, 均 $P < 0.001$)。术后 3 个月、6 个月的球差明显高于术前, 术后 7 d、6 个月的彗差明显高于术前, 术后各时间点的三叶草、总高阶像差均明显高于术前, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$) (表 2)。

2.4 手术前后 MTF 值比较

手术前后不同时间点 6 mm 瞳孔直径下水平子午线 10、20、30、40 c/d 空间频率 MTF 值总体比较, 差异均有统计学意义 ($F = 9.381, P < 0.001; F = 4.509, P = 0.002; F = 5.771, P < 0.001; F = 3.352, P = 0.011$)。其中术后各时间点 10、30 c/d 空间频率 MTF 值较术前均明显降低, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$); 术后 7 d、6 个月 20、40 c/d 空间频率 MTF 值较术前均明显降低, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$) (表 3)。

手术前后不同时间点垂直子午线 30、40 c/d 空间频率 MTF 值总体比较, 差异均有统计学意义 ($F = 3.342, 3.025$, 均 $P < 0.05$), 其中术后 7 d、6 个月 MTF 值均较术前均明显降低, 差异有统计学意义 (均 $P < 0.05$) (表 4)。

2.5 各指标及手术参数相关性分析

术后 6 个月的 6、7、8、9 mm 直径范围下 Q 值均与球差 ($r = 0.798 \sim 0.925, P < 0.05$)、总高阶像差 ($r = 0.596 \sim 0.630, P < 0.05$)、SI ($r = 0.235 \sim 0.303, P < 0.05$)、角膜切削深度 ($r = 0.583 \sim 0.659, P < 0.05$) 呈正相关, 与 SR、彗差、三叶草、残余 SE、手术光学区/暗室瞳孔直径、偏心切削量均无明显相关 (均 $P > 0.05$)。SI 与球差 ($r = 0.307, P < 0.05$)、彗差 ($r = 0.424, P < 0.05$)、总高阶像差 ($r = 0.300, P < 0.05$)、角膜切削深度 ($r = 0.227, P < 0.05$)、偏心切削量 ($r = 0.281, P < 0.05$) 呈弱正相关; 与 SR、三叶草、残余 SE、手术光学区/暗室瞳孔直径均无明显相关性 (均 $P > 0.05$) (表 5)。SR 与像差、角膜切削深度、偏心切削量等无明显相关性 (均 $P \geq 0.05$) (表 5)。

表 2 Trans-PRK 术前及术后各时间点 SR 及角膜前表面像差均方根比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 2 Comparison of SR and root mean square of anterior corneal surface aberration at various time points between before and after Trans-PRK ($\bar{x} \pm s$)

时间	眼数	SR	像差			
			球差	彗差	三叶草	总高阶像差
术前	65	0.13±0.06	0.21±0.07	0.19±0.09	0.13±0.01	0.35±0.10
术后 7 d	65	0.14±0.05	0.22±0.21	0.26±0.18 ^a	0.20±0.02 ^a	0.56±0.30 ^a
术后 1 个月	65	0.15±0.05	0.24±0.18	0.21±0.12	0.16±0.01 ^a	0.46±0.16 ^a
术后 3 个月	65	0.17±0.06 ^a	0.26±0.18 ^a	0.21±0.11	0.17±0.01 ^a	0.47±0.15 ^a
术后 6 个月	65	0.18±0.06 ^a	0.32±0.17 ^a	0.23±0.11 ^a	0.18±0.01 ^a	0.52±0.20 ^a
F 值		12.023	11.508	4.962	7.420	16.709
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: 与各自的术前测量值比较, ^a $P < 0.05$ (重复测量单因素方差分析, LSD-*t* 检验) Trans-PRK: 经上皮准分子激光角膜切削术; SR: 斯特尔比率

Note: Compared with respective preoperative measurements, ^a $P < 0.05$ (One-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) Trans-PRK: transepithelial photorefractive keratectomy; SR: strehl ratio

表 3 Trans-PRK 术前及术后水平子午线不同空间频率 MTF 值比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 3 Comparison of MTF values of horizontal meridian at different spatial frequencies between before and after Trans-PRK ($\bar{x} \pm s$)

时间	眼数	不同空间频率 MTF 值			
		10 c/d	20 c/d	30 c/d	40 c/d
术前	65	0.051±0.026	0.020±0.010	0.011±0.008	0.006±0.006
术后 7 d	65	0.033±0.023 ^a	0.014±0.012 ^a	0.006±0.008 ^a	0.003±0.005 ^a
术后 1 个月	65	0.037±0.026 ^a	0.016±0.013	0.007±0.010 ^a	0.004±0.007
术后 3 个月	65	0.037±0.022 ^a	0.016±0.013	0.008±0.010 ^a	0.004±0.008
术后 6 个月	65	0.033±0.021 ^a	0.013±0.012 ^a	0.006±0.008 ^a	0.003±0.006 ^a
F 值		9.381	4.509	5.771	3.352
P 值		<0.001	0.002	<0.001	0.011

注: 与各自的术前测量值比较, ^a $P < 0.05$ (重复测量单因素方差分析, Dunnett *t* 检验) Trans-PRK: 经上皮准分子激光角膜切削术; MTF: 调制传递函数

Note: Compared with respective preoperative measurements, ^a $P < 0.05$ (One-way repeated measures ANOVA, Dunnett *t* test) Trans-PRK: transepithelial photorefractive keratectomy; MTF: modulation transfer function

表 4 Trans-PRK 术前及术后垂直子午线不同空间频率 MTF 值比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 4 Comparison of MTF values of vertical meridian at different spatial frequencies between before and after Trans-PRK ($\bar{x} \pm s$)

时间	眼数	不同空间频率 MTF 值			
		10 c/d	20 c/d	30 c/d	40 c/d
术前	65	0.050±0.029	0.022±0.012	0.012±0.009	0.006±0.007
术后 7 d	65	0.043±0.026	0.017±0.012	0.009±0.009 ^a	0.003±0.006 ^a
术后 1 个月	65	0.039±0.025	0.020±0.012	0.010±0.010	0.005±0.007
术后 3 个月	65	0.046±0.028	0.017±0.012	0.009±0.010	0.003±0.006 ^a
术后 6 个月	65	0.043±0.024	0.018±0.013	0.008±0.008 ^a	0.004±0.006 ^a
F 值		1.576	2.313	3.342	3.025
P 值		0.214	0.062	0.020	0.017

注:与各自的术前测量值比较,^a $P < 0.05$ (重复测量单因素方差分析, Dunnett t 检验) Trans-PRK: 经上皮准分子激光角膜切削术; MTF: 调制传递函数

Note: Compared with respective preoperative measurements, ^a $P < 0.05$ (One-way repeated measures ANOVA, Dunnett t test) Trans-PRK: transepithelial photorefractive keratectomy; MTF: modulation transfer function

表 5 Trans-PRK 术后 6 个月各指标相关系数矩阵
Table 5 Correlation coefficient matrix of each index at 6 months after Trans-PRK

指标	6 mm 角膜直径 Q 值	7 mm 角膜直径 Q 值	8 mm 角膜直径 Q 值	9 mm 角膜直径 Q 值	SR 值	SI 值
6 mm 角膜直径 Q 值	1	0.986 ^a	0.935 ^a	0.883 ^a	0.023	0.290 ^a
7 mm 角膜直径 Q 值	0.986 ^a	1	0.974 ^a	0.936 ^a	0.039	0.303 ^a
8 mm 角膜直径 Q 值	0.935 ^a	0.974 ^a	1	0.987 ^a	0.074	0.268 ^a
9 mm 角膜直径 Q 值	0.883 ^a	0.936 ^a	0.987 ^a	1	0.099	0.235 ^a
SR 值	0.023	0.039	0.074	0.099	1	-0.038
SI 值	0.290 ^a	0.303 ^a	0.268 ^a	0.235 ^a	-0.038	1
球差	0.925 ^a	0.911 ^a	0.853 ^a	0.798 ^a	-0.017	0.307 ^a
彗差	0.176	0.175	0.156	0.148	-0.132	0.424 ^a
三叶草	0.168	0.162	0.147	0.118	-0.021	-0.104
总高阶像差	0.617 ^a	0.630 ^a	0.599 ^a	0.596 ^a	-0.204	0.300 ^a
角膜切削深度	0.583 ^a	0.625 ^a	0.633 ^a	0.659 ^a	-0.009	0.227 ^a
残余 SE	0.216	0.176	0.129	0.094	-0.115	-0.006
偏心切削量	0.009	0.004	0.000	0.036	-0.084	-0.281 ^a
手术光学区/暗室瞳孔直径	-0.073	-0.073	-0.062	-0.055	0.082	-0.133

注:^a $P < 0.05$ (Pearson 相关分析) Trans-PRK: 经上皮准分子激光角膜切削术; SR: 斯特列尔比率; SI: 对称指数; SE: 等效球镜度

Note: ^a $P < 0.05$ (Pearson correlation analysis) Trans-PRK: transepithelial photorefractive keratectomy; SR: strehl ratio; SI: symmetry index; SE: spherical equivalent

3 讨论

角膜地形图是全面分析角膜形态的一种有效手段。角膜地形图报告中 SI 及 Q 值是反映角膜表面形态的 2 个重要参数,对了解角膜表面对称性和非球面形态有着重要的参考意义。角膜前表面 SI 定义为上侧和下侧以垂直轴为中心 2 个环形区域平均切向曲率的差值,测量角膜垂直方向非对称性,正常在 0.85 D 以内。本研究中术后不同时间点角膜前表面 SI 值均高于术前值;SI 值与球差、彗差、总高阶像差、不同直

径范围 Q 值、角膜切削深度、偏心切削量呈弱正相关,与 SR、三叶草、残余 SE、手术光学区/暗室瞳孔直径均无明显相关性。反映了 Trans-PRK 手术会使角膜表面切向曲率分布的不对称性增大,但对手术效果是否有显著影响还需进一步研究明确。

角膜多为从中央到周边逐渐变平的非球面形态;角膜屈光手术通过在光学区切削一定量的角膜组织,使角膜曲率降低,角膜变平,角膜发生扁球形的变化, Q 值由负变正,达到矫正近视目的^[5-7]。本研究结果也显示,术后不同直径范围的角膜前表面 Q 值均较术前明显增加,由负值变为正值。Kwon 等^[8]研究发现,激光在角膜周边的衰减和术后角膜重塑均会引起角膜非球面性改变和球差增加。Gatinel 等^[9]研究角膜表面切削术切削深度与非球面特性的关系,发现术中非球面性的手术设计切削的角膜组织更多。较多的组织切削,可能引起角膜上皮层厚度反应性增加,术后角膜中央区与周边部上皮层厚度不同程度的增厚可能会导致扁球形的增加^[10]。使用消像差模式 Trans-PRK 可减少术源性球差的引入,在光学区周边部的切削深度较深,使该区域进一步变平,但由于角膜整体生物力学发生变化,术后中央区域角膜变薄,中央角膜张力降低,周边角膜张力的

牵拉作用引起角膜非球面性变化,也会导致术后 Q 值增加^[11]。

波前像差是客观评价角膜屈光术后视觉质量变化情况的指标之一。本研究采用 SPT 引导的 Trans-PRK 消像差模式,发现术后角膜前表面球差、彗差、三叶草、总高阶像差均较术前不同程度增加。Wu 等^[12]研究发现,使用 SPT 的 Trans-PRK 在矫正近视术后 6 个月,角膜总高阶像差、水平方向彗差、垂直方向彗差、球差均较术前明显增加,这与本研究结果相一致。导致术后

角膜前表面高阶像差增加的可能原因包括:(1)角膜前表面非球面性变化可能导致像差增加。本研究发现 Trans-PRK 术后不同范围角膜前表面 Q 值均较术前明显增加,且与球差、总高阶像差均呈正相关。(2)激光仪器切削时考虑了角膜周边区域的能量补偿,但不可避免仍有部分激光能量丢失,使切削组织减少^[13]。(3)Trans-PRK 术后角膜上皮层与浅基质层的创伤后愈合是一个复杂的过程,可能引起角膜结构重塑,进而增加手术后角膜高阶像差^[8]。

MTF 利用傅里叶分析方法把物和像的亮度分解成不同频率的正弦或余弦光栅,通过研究光学系统对正弦或余弦波的调制度(对比度)来评价光学系统成像质量,反映了光学系统对不同空间频率的传递能力,与人眼的像差、衍射效果有关^[14-15]。MTF 值越大,成像越清晰,光学质量越好^[16]。本研究中结果显示 Trans-PRK 术后 6 个月 6 mm 瞳孔直径下水平子午线 10、20、30、40 c/d 空间频率 MTF 值均较术前明显降低;垂直子午线 30、40 c/d 空间频率 MTF 值较术前明显降低。推测 Trans-PRK 术后暗视环境下轮廓分辨能力、对比敏感度及视敏度等在一定程度上降低,需要做进一步的观察研究进行验证。角膜前表面 MTF 与像差具有明显的相关性^[17],Trans-PRK 手术矫正了低阶像差,但引入了不同程度高阶像差,进而引起 MTF 的变化。点扩散函数是一点光源经过眼光学系统后在视网膜上光强度的分布函数,综合了衍射、折射、像差等因素的共同影响,能较全面地评估视网膜成像质量^[15]。点扩散函数一般用物体点光源与像点差异的比值 SR 表示,SR 是焦点上实际光强度与理想最大光强度的比值,其越接近 1,视网膜成像质量越好。本研究中,6 mm 瞳孔直径下 SR 与像差、Q 值、SI 等指标无明显相关性,且术后 3 个月、6 个月 SR 均较术前有明显增加,提示 Trans-PRK 术后衍射、折射、像差等综合因素对视网膜成像质量影响较小,视网膜成像质量较术前提升。

综上所述,采用 SPT 的 Trans-PRK 在矫正屈光不正的同时会使角膜前表面的非对称性增大,扁球形增加,并引入不同程度的高阶像差。但是,手术光学区由于影响视觉质量的低阶像差等的矫正和角膜伤口随时间愈合更加均匀,视网膜成像质量较术前提升。角膜前表面形态变化受激光对角膜的损伤、角膜愈合反应、表面张力等多因素影响,未来还需从生物力学、组织学等方面综合分析。由于人眼的视觉形成是一个复杂的物理、心理过程,影响角膜视觉质量的因素也较多,因此还需结合其他评价指标、延长随访时间、增加样本量进一步深入研究。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 杜玉芹:参与选题、试验设计、实施研究、采集数据、资料分析和解释、论文撰写;周跃华:参与选题、设计试验、实施研究、对文章的知识性内容作批判性审阅及定稿;周春阳:设计试验、实施研究、论文修改;李羽、苏丹:参与数据采集

参考文献

- [1] 阳珊,李莹,姜洋,等. TPRK 与 FS-LASIK 矫正近视散光疗效的比较[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2019, 21(2): 122-126. DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2019.02.008.
Yang S, Li Y, Jiang Y, et al. A comparative study of effect after treatment with TPRK and FS-LASIK[J]. Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci, 2019, 21(2): 122-126. DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2019.02.008.
- [2] 杜玉芹,周春阳,周跃华,等. 智能脉冲技术的 TransPRK 与 SMILE 矫正近视的疗效比较[J]. 中华实验眼科杂志, 2020, 38(6): 489-493. DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200327-00216.
Du YQ, Zhou CY, Zhou YH, et al. Comparison of clinical effects between TransPRK with intelligent pulse technology and SMILE for myopia[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2020, 38(6): 489-493. DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200327-00216.
- [3] 杜玉芹,周春阳,文龙,等. 智能脉冲技术辅助的经上皮准分子激光角膜切削术(Trans-PRK)矫正中低度近视[J]. 眼科新进展, 2019, 39(10): 973-975. DOI:10.13389/j.cnki.rao.2019.0222.
Du YQ, Zhou CY, Wen L, et al. Smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy (Trans-PRK) for the correction of moderate to low myopia[J]. Rec Adv Ophthalmol, 2019, 39(10): 973-975. DOI:10.13389/j.cnki.rao.2019.0222.
- [4] 杜晓豪,张佳,苏蒙,等. 智能脉冲技术辅助的 TransPRK 矫正高度近视的效果和安全性评估[J]. 中华实验眼科杂志, 2021, 39(12): 1053-1058. DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20190423-00200.
Du XH, Zhang J, Su M, et al. Evaluation of the effectiveness and safety of TransPRK assisted by smart pulse technology for high myopia[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2021, 39(12): 1053-1058. DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20190423-00200.
- [5] 侯杰,王雁,左彤,等. LASIK 手术对角膜前后表面非球面性的早期影响[J]. 中华实验眼科杂志, 2010, 28(3): 261-266. DOI:10.3969/j.issn.1003-0808.2010.03.019.
Hou J, Wang Y, Zuo T, et al. Short-term influence of LASIK on anterior and posterior corneal asphericity[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2010, 28(3): 261-266. DOI:10.3969/j.issn.1003-0808.2010.03.019.
- [6] Bühren J, Nagy L, Yoon G, et al. The effect of the asphericity of myopic laser ablation profiles on the induction of wavefront aberrations[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2010, 51(5): 2805-2812. DOI:10.1167/iovs.09-4604.
- [7] 杜显丽,刘后仓,陈敏,等. 不同引导方法 LASIK 术后角膜非球面性改变及临床分析[J]. 国际眼科杂志, 2012, 12(4): 599-603. DOI:10.3969/j.issn.1672-5123.2012.04.01.
Du XL, Liu HC, Chen M, et al. Effects and change of corneal asphericity after LASIK treatment of myopia with different ablation modes[J]. Int Eye Sci, 2012, 12(4): 599-603. DOI:10.3969/j.issn.1672-5123.2012.04.01.
- [8] Kwon Y, Bott S. Postsurgery corneal asphericity and spherical aberration due to ablation efficiency reduction and corneal remodelling in refractive surgeries[J]. Eye (Lond), 2009, 23(9): 1845-1850. DOI:10.1038/eye.2008.356.
- [9] Gatinel D, Malet J, Hoang-Xuan T, et al. Analysis of customized corneal ablations; theoretical limitations of increasing negative asphericity[J].

- Invest Ophthalmol Vis Sci, 2002, 43 (4) : 941-948.
- [10] Tabernero J, Klyce SD, Sarver EJ, et al. Functional optical zone of the cornea [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2007, 48 (3) : 1053-1060. DOI: 10.1167/iovs.06-0867.
- [11] Adib-Moghaddam S, Soleyman-Jahi S, Salmanian B, et al. Single-step transepithelial photorefractive keratectomy in myopia and astigmatism: 18-month follow-up [J]. J Cataract Refract Surg, 2016, 42 (11) : 1570-1578. DOI: 10.1016/j.jcrs.2016.08.029.
- [12] Wu Y, Huang Y, Wang SH, et al. Comparative study of objective visual quality between FS-LASIK and SMART in myopia [J]. Int J Ophthalmol, 2022, 15 (3) : 502-509. DOI: 10.18240/ijo.2022.03.20.
- [13] 王雁, 赵堪兴. 角膜屈光手术后的高阶像差与视觉质量 [J]. 中华眼科杂志, 2011, 47 (7) : 664-668. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2011.07.022.
- [14] Ondategui JC, Vilaseca M, Arjona M, et al. Optical quality after myopic photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis: comparison using a double-pass system [J]. J Cataract Refract Surg, 2012, 38 (1) : 16-27. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.07.037.
- [15] 王雁. 波前像差与临床视觉矫正 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2011: 77-88.
- [16] Díaz-Doutón F, Benito A, Pujol J, et al. Comparison of the retinal image quality with a Hartmann-Shack wavefront sensor and a double-pass instrument [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2006, 47 (4) : 1710-1716. DOI: 10.1167/iovs.05-1049.
- [17] Zheng YZ, Chen YP, Qiu Y, et al. Analysis of the optical quality by determining the modulation transfer function for anterior corneal surface in myopes [J]. Int J Ophthalmol, 2012, 5 (2) : 196-201. DOI: 10.3980/j.issn.2222-3959.2012.02.16.
- (收稿日期: 2022-04-01 修回日期: 2022-10-11)
- (本文编辑: 张宇 骆世平)

读者 · 作者 · 编者

本刊对中英文摘要的要求

论著或综述文稿正文请撰写中英文摘要。原创性论著文稿要求为结构式摘要, 包括目的 (Objective)、方法 (Methods)、结果 (Results) 和结论 (Conclusions) 4 个要素, 摘要应能够回答以下问题: (1) 为什么进行这项研究。(2) 主要用什么方法进行研究。(3) 获得什么主要结果。(4) 通过研究得出什么结论等。其中目的部分为本课题对所涉及的研究内容及亟待解决的问题设立的目标。方法部分应提供研究对象、样本量、分组情况、各组的干预情况、与研究相适应的观察或检测指标, 获得结局指标的手段和设备等。临床研究请说明是前瞻性研究、回顾性研究还是观察性研究。结果部分请客观描述研究的主要发现, 包括主要的形态学检查表现、相关的关键性或主要的量化资料以及相应的统计学比较结果, 须写明统计学量值及其概率值。结论部分请提出与本研究论据直接相关的、必然的推论, 避免得出过度推测性、评价性和扩大化的结论。摘要请用第三人称客观表述, 不列图表, 不引用文献, 不加评论和解释。英文摘要应与中文摘要内容相对应, 但为了对外交流的需要, 可以略详细。英文摘要应包括论文文题 (正体) 及全部作者姓名 (汉语拼音, 姓在前, 首字母大写, 名在后, 首字母大写, 双字连写。如: Yin Xiaohui)、标准化的单位名称、城市名称 (汉语拼音)、邮政编码及国家名称 (全部为斜体)。请在另起一行处提供通信作者姓名的汉语拼音和 Email 地址, 如 *Corresponding author: Yin Xiaohui, Email: xiaohuih@126.com*。专家述评或综述类文稿请撰写指示性中英文摘要, 摘要内容应包含研究涉及的概念、研究的目的、综述资料的来源、复习的文献量、研究的新发现或应用领域、综合的结果和结论及其意义等必要的信息。

研究论文为前瞻性研究者应在中英文摘要结束处提供临床试验注册号, 以“临床试验注册 (Trial registration)”为标题, 提供注册机构名称和注册号。前瞻性临床研究的论著摘要应注明遵循 CONSORT 声明 (Consolidated Standards of Reporting Trials) (<http://www.consort-standart.org/home>)。

本刊投稿方式

初次投稿作者请按照下列步骤投稿: 登录中华医学会网站 (<http://www.cma.org.cn>) → 点击页面右上角的“注册” → 选项注册账号 → 返回首页 → 点击页面右下方的“申请成为杂志作者”成为本刊作者进行投稿。投稿时请使用 Word 格式 (.doc 文件类型), 投稿后请注意自留原稿, 并保留论文相关的原始资料, 以备稿件修改补充所用。投稿后请从“业务中心”下载“中华医学会系列杂志论文投送介绍信及授权书 (中文版)”, 填写有关项目并请每位作者亲笔签字, 加盖单位公章后寄 2 份至本刊编辑部, 其中作者签名顺序和作者单位著录名称应与投稿时文章中著录的相一致, 如有变更应由每位作者同意并请通信作者告知编辑部。投稿请注意: (1) 在非公开刊物发表的稿件、学术会议交流的文章、已用非中文文字期刊发表的文稿不属于一稿两投, 但投稿时应向编辑部说明, 非中文文字期刊已发表的文稿须征得首次发表期刊的同意。(2) 作者须告知与该研究有关的利益冲突, 如该研究被某机构资金资助的声明或与审稿人的利益关系。(3) 如涉及保密问题, 需附有关部门审查同意发表的证明。

(本刊编辑部)

