

· 临床研究 ·

角膜基质透镜植入联合角膜胶原交联术治疗较薄型圆锥角膜的安全性及有效性

刘洋¹ 韩雨² 秦艺璇² 王媛茹¹ 任英华¹ 马臻¹ 王政来¹ 张金金¹ 庄文娟¹

¹宁夏回族自治区人民医院 宁夏医科大学附属自治区人民医院/第三临床医学院 宁夏眼科医院, 银川 750002; ²宁夏爱尔眼科医院, 银川 750000

通信作者: 庄文娟, Email: zh_wenj@163.com

【摘要】 目的 探讨飞秒激光辅助的角膜基质透镜植入联合角膜胶原交联术(SLAK-CXL)治疗较薄型圆锥角膜的安全性及有效性。**方法** 采用病例系列观察研究, 纳入2022年2月至2024年6月于宁夏眼科医院视光中心行SLAK-CXL的圆锥角膜患者16例16眼, 记录患者术前及术后20 d、3个月、6个月、12个月最佳矫正视力(BCVA)、等效球镜度(SE)、Pentacam三维眼前节分析仪获取的角膜形态学指标及Corvis ST生物力学分析仪获取的角膜生物力学指标。观察其术后并发症发生情况。**结果** 术前及术后20 d、3个月、6个月、12个月BCVA分别为0.52(0.43, 0.79)、0.56(0.43, 0.79)、0.60(0.52, 0.68)、0.56(0.33, 1.23)、0.52(0.30, 0.68), SE分别为(-11.01±6.61)、(-14.65±6.51)、(-14.83±6.39)、(-15.87±4.28)、(-15.88±5.05)D, 总体比较差异均无统计学意义($\chi^2=5.044, F=3.660, 均P>0.05$)。角膜形态学参数中, 术后各时间点角膜前表面平轴曲率均较术前增加, 角膜后表面陡轴曲率均较术前降低, 术后3、6、12个月角膜前表面陡轴曲率均较术前增加, 术后3个月角膜后表面平轴曲率较术前降低, 差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。术后各时间点角膜顶点厚度、最薄点厚度均较术前明显增加, 垂直非对称性指数均较术前明显降低, 术后20 d、3个月、6个月最薄点前表面高度均较术前明显降低, 术后20 d、6个月、12个月最薄点后表面高度均较术前明显降低, 术后3个月、6个月角膜顶点后表面高度均较术前明显降低, 术后6个月高度轴偏心指数较术前降低, 差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。角膜生物力学参数中, 术后3个月断层地形图联合生物力学指数、距顶点2 mm处的形变幅度比值均较术前降低, 术后6、12个月Belin/Ambrosio综合偏差值、综合半径指数较术前降低, 最薄点与水平方向角膜厚度变化率比值较术前增加, 术后20 d、6个月、12个月第1次压平硬度指数均较术前增加, 术后6个月最大压陷反向曲率半径较术前增加, 术后20 d最大压陷峰距较术前降低, 差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。所有术眼随访期内均未见角膜基质植片发生免疫排斥反应、溶解、皱褶及移位, 无角膜混浊。**结论** SLAK-CXL可显著增加较薄型圆锥角膜眼的角膜厚度, 提高角膜硬度, 改善角膜形态, 随访12个月未见明显不良反应, 具有良好的安全性和有效性。

【关键词】 圆锥角膜; 角膜基质透镜; 角膜移植; 角膜胶原交联

基金项目: 国家自然科学基金(82460202); 宁夏回族自治区重点研发计划(2024BEG02016)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250813-00268

Safety and efficacy of corneal stromal lenticule implantation combined with corneal collagen cross-linking in the treatment of thinner keratoconus

Liu Yang¹, Han Yu², Qin Yixuan², Wang Yuanru¹, Ren Yinghua¹, Ma Zhen¹, Wang Zhenglai¹, Zhang Jinjin¹, Zhuang Wenjuan¹

¹People's Hospital of Ningxia Hui Autonomous Region, Ningxia Medical University, Ningxia Eye Hospital, Yinchuan 750002, China; ²Ningxia Aier Eye Hospital, Yinchuan 750000, China

Corresponding author: Zhuang Wenjuan, Email: zh_wenj@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the safety and efficacy of stromal lenticule implantation addition keratoplasty combined with corneal collagen cross-linking (SLAK-CXL) in treating thinner keratoconus. **Methods** An observational case series study was conducted. Sixteen patients (16 eyes) with keratoconus who underwent SLAK-CXL at the Optometry Center of Ningxia Eye Hospital between February 2022 and June 2024 were enrolled. The patients' best corrected visual

acuity (BCVA), spherical equivalent (SE), corneal morphological parameters obtained by Pentacam three-dimensional anterior segment analyzer, and corneal biomechanical indicators obtained by Corvis ST biomechanical analyzer were recorded before surgery and 20 days, 3 months, 6 months, and 12 months after surgery. The occurrence of postoperative complications was observed. This study followed the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics Committee of the People's Hospital of Ningxia Hui Autonomous Region (No. 2022-NZR-035). All patients or their guardians were aware of the study purpose and signed the informed consent form. **Results** The BCVA before the operation, as well as at 20 days, 3 months, 6 months, and 12 months after the operation were 0.52 (0.43, 0.79), 0.56 (0.43, 0.79), 0.60 (0.52, 0.68), 0.56 (0.33, 1.23), and 0.52 (0.30, 0.68), respectively, and the SE values were (-11.01 ± 6.61) , (-14.65 ± 6.51) , (-14.83 ± 6.39) , (-15.87 ± 4.28) , and (-15.88 ± 5.05) D, respectively, with no statistically significant overall differences ($\chi^2 = 5.044$, $F = 3.660$, both $P > 0.05$). Among the corneal morphological parameters, the curvature of the flat axis of the anterior corneal surface increased at each time point following the operation compared to pre-operative measurements, while the curvature of the steep axis of the posterior corneal surface decreased relative to pre-operative values, but the curvature of the steep axis of the anterior corneal surface increased at 3, 6, and 12 months post-operation compared to pre-operative measurements, and the curvature of the flat axis of the posterior corneal surface decreased at 3 months post-operation compared to pre-operative values, showing statistically significant differences (all $P < 0.05$). The thickness of the corneal apex and the thinnest point at each postoperative time point significantly increased compared to preoperative measurements, while the vertical asymmetry index exhibited a notable decrease compared to preoperative values (all $P < 0.05$). The anterior surface height of the thinnest point at 20 days, 3 months, and 6 months postoperatively were significantly lower than that before the operation, the posterior surface height of the thinnest point at 20 days, 6 months, and 12 months after the operation were significantly reduced compared to preoperative values, the posterior surface height of the corneal apex at 3 and 6 months postoperatively were significantly lower than that before the operation, and the height-axis eccentricity index at 6 months postoperatively was reduced compared to baseline measurements, showing statistically significant differences (all $P < 0.05$). Among the corneal biomechanical parameters, the topographic map combined with the biomechanical index and deformation amplitude ratio at 2 mm at 3 months postoperatively were lower than before the operation. The comprehensive deviation value of Belin/Ambrosio and the comprehensive radius index at 6 and 12 months postoperatively were lower than the preoperative values (all $P < 0.05$). The ratio of the thinnest point to the rate of change of corneal thickness in the horizontal direction at 6 and 12 months postoperatively were higher than before the operation, and stiffness parameter applanation 1 levels at 20 days, 6 months, and 12 months after surgery were increased compared to baseline measurements (all $P < 0.05$). At 6 months postoperatively, the reverse curvature radius of the maximum indentation increased compared to preoperative values, and the peak distance of the maximum indentation at 20 days postoperatively was reduced compared to baseline (both $P < 0.05$). Throughout the follow-up period, no immune rejection, graft dissolution, wrinkling, or displacement of corneal stromal grafts were noted, nor was there any corneal opacity. **Conclusions** SLAK-CXL significantly increases the corneal thickness in thinner keratoconus eyes, enhances corneal rigidity, and improves corneal morphology. No significant adverse reactions were observed during the 12-month follow-up, indicating that the procedure demonstrates both safety and efficacy.

[Key words] Keratoconus; Corneal stromal lens; Corneal transplantation; Corneal collagen crosslinking

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82460202); Key Research and Development Program Project of Ningxia Hui Autonomous Region (2024BEG02016)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250813-00268

圆锥角膜是一种以角膜进行性变薄和膨隆突出为特征的扩张性角膜疾病,常双侧发病,多表现为不对称进展,可导致高度不规则散光和屈光度数不稳定,并伴有轻至重度的视觉功能损害^[1-2]。研究表明,全球圆锥角膜患病率约为 138/10 万,在所有人种中均可发

病,美国非拉丁裔白人的患病率约为 54.5/10 万,而亚洲和中东人群的患病率更高^[3-5]。角膜胶原交联术 (corneal collagen crosslinking, CXL) 是目前唯一证实可延缓或阻止圆锥角膜进展的方法^[1]。现有研究表明,跨角膜上皮 CXL 的疗效劣于去上皮 CXL 方案^[6]。去

上皮 CXL 需先去角质膜上皮,待核黄素渗透至角膜基质后开始紫外线照射,进行角膜交联;为避免角膜内皮损伤及角膜瘢痕形成,临床上将角膜厚度 $>400\ \mu\text{m}$ 定义为 CXL 手术的安全阈值。近年来,许多研究者为了克服 $400\ \mu\text{m}$ 的限制,实现对薄型圆锥角膜安全有效的 CXL 治疗,探索了 CXL 术中使用低渗透性核黄素溶液、角膜接触镜辅助 CXL、跨角膜上皮 CXL、角膜上皮岛 CXL、角膜基质透镜辅助行 CXL、Nomogram 个性化能量设定 CXL 等多种手术方式^[7]。然而,这些手术方法均无法解决薄角膜($<400\ \mu\text{m}$)的厚度不足和深层交联效率问题。

飞秒激光辅助的角膜基质透镜植入术(stromal lenticule addition keratoplasty, SLAK)联合 CXL 治疗圆锥角膜,通过植入角膜基质透镜增厚角膜,同时实现基质内同步交联,是近年来研究的热点。除理论上比传统角膜移植具有免疫学优势外,SLAK-CXL 手术时间较短、采用局部麻醉,有效提高了患者的依从性。此外,该方法还被证实能恢复角膜厚度和规则化角膜曲率、改善高阶像差,并提升佩戴角膜接触镜的耐受性^[8-12]。然而,目前关于 SLAK-CXL 治疗较薄型圆锥角膜后角膜形态学和生物力学改变的相关报道较少。本研究拟从角膜形态学和生物力学角度评估 SLAK-CXL 治疗较薄型圆锥角膜的有效性与安全性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用病例系列观察研究,纳入 2022 年 2 月至 2024 年 6 月于宁夏眼科医院视光中心行 SLAK-CXL 的圆锥角膜患者 16 例 16 眼,其中男 6 例,女 10 例,年龄 16~34 岁,平均 (24.31 ± 6.15) 岁。纳入标准:(1)处于 Amsler-Krumeich 分期 II 和 III 期的原发性圆锥角膜;(2) $300\ \mu\text{m} <$ 角膜最薄点厚度 $<400\ \mu\text{m}$ 。排除标准:(1)有其他急性活动性眼部疾病者;(2)角膜中央有明显瘢痕形成者;(3)有眼部手术史、外伤史者;(4)有结缔组织疾病、代谢性疾病以及自身免疫性疾病等全身性疾病者;(5)对本研究相关治疗药物过敏者;(6)妊娠或哺乳期患者。本研究中遵循《赫尔辛基宣言》,研究方案经宁夏回族自治区人民医院伦理委员会批准(批文号:2022-NZR-035),所有患者或其监护人均知晓研究目的并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 手术方法及术后用药 所有手术均由同一位经验丰富的医师完成。(1)角膜基质透镜的制备 选取手术当日行飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术

(femtosecond laser small incision lenticule extraction, SMILE)且散光度数 $\leq 0.50\ \text{D}$ 患者的角膜基质透镜。SMILE 参数:采用 VisuMax 飞秒激光(德国 Carl Zeiss 公司)进行,脉冲重复频率 500 kHz,能量 36 nJ,光斑距离 4.5 mm,基质透镜光学区直径 6.7 mm,边切角度 130° ,角膜帽直径 7.8 mm、厚度 90~140 μm ,手术切口长度 2 mm,术中完整分离并取出角膜基质透镜。将新鲜透镜储存于含平衡盐溶液(balanced salt solution, BSS)的无菌容器中,并标记透镜的正反面(透镜上层为正面,下层为反面)。(2)SLAK-CXL 术前结合圆锥角膜患者的角膜厚度,选择所需植入的透镜厚度,确保植入透镜后角膜厚度 $>400\ \mu\text{m}$ 。术前选择 2~3 个供体角膜基质透镜,根据 VisuMax 飞秒激光扫描质量、透镜完整性等选择最佳供体透镜。术前患者术眼行表面麻醉,参照角膜地形图 Kmax 的极坐标位置于裂隙灯显微镜下坐位标记圆锥顶点位置,并使用复方托吡卡胺滴眼液(间隔 10 min,点 3 次)扩瞳,确保瞳孔直径 $\geq 7\ \text{mm}$ 。使用 VisuMax 飞秒激光仪的“Flap 模式”在术眼角膜上制作基质囊袋,囊袋参数:正上方囊袋切口长度 3 mm(50 弧度),深度 130~200 μm ,直径 7.0 mm。使用角膜透镜分离器钝性分开囊袋,将 0.1%核黄素(PMF108,瑞士 Peschke 公司)注入基质囊袋并完全覆盖角膜上皮,同时将待用的角膜基质透镜置于核黄素溶液中浸泡 10 min,用大量 BSS 清洗囊袋和角膜基质透镜。使用透镜镊钳夹住角膜基质透镜(反面向上),自上方 3 mm 切口处植入基质囊袋内,并以圆锥角膜锥顶位置为中心将角膜基质透镜均匀铺展,术中用裂隙灯显微镜观察,确保透镜边缘无褶皱。采用 KXL 角膜交联仪(美国 Avedro 公司)行紫外线照射(波长 370 nm,能量 $30\ \text{mW}/\text{cm}^2$,连续照射模式,总照射时间 4 min,累计能量 $7.2\ \text{J}/\text{cm}^2$),照射过程中保护角膜缘,间断点 BSS 以维持角膜表面湿润。术毕,佩戴角膜绷带镜(美国博士伦公司)。根据患者术眼角膜修复情况,一般在术后 3~7 d 内摘除角膜绷带镜。所有患者术后常规给予 0.5%左氧氟沙星滴眼液(日本参天制药公司)及普拉洛芬滴眼液(日本千寿制药公司)每日 4 次,用药 2 周;醋酸泼尼松龙滴眼液(爱尔兰爱力根制药公司)初始每日 5 次,1 周后递减为每日 4 次,逐周递减至停药;0.3%玻璃酸钠滴眼液(日本参天制药公司)每日 4 次。术后 2 周加用环孢素滴眼液(沈阳兴齐制药有限责任公司)每日 4 次,根据患者眼部情况持续用药 3~6 个月停药。

1.2.2 观察指标 分别于术前和术后 20 d、3 个月、6 个月、12 个月测量等效球镜度(spherical equivalent,

SE)、最佳矫正视力 (best corrected visual acuity, BCVA), BCVA 记录为 LogMAR 视力。采用裂隙灯显微镜、角膜共聚焦显微镜 (德国 Heidelberg 公司) 进行眼前节评估。采用三维眼前节分析仪 (Pentacam HR, 德国 Oculus 公司) 测量角膜形态学参数, 包括角膜前表面平轴曲率 (the flat-axis curvature of the anterior corneal surface, FK1)、角膜前表面陡轴曲率 (the steep-axis curvature of the anterior corneal surface, FK2)、角膜后表面平轴曲率 (the flat-axis curvature of the posterior corneal surface, BK1)、角膜后表面陡轴曲率 (the steep-axis curvature of the posterior corneal surface, BK2)、角膜前表面最大曲率 (the maximum curvature of the anterior corneal surface, FKmax)、角膜顶点及最薄点厚度、角膜前/后表面顶点及最薄点高度、垂直非对称性指数 (index of vertical asymmetry, IVA)、高度轴偏心指数 (index of height decentration, IHD)、表面变异指数 (index of surface variance, ISV)、高度非对称性指数 (index of height asymmetry, IHA)、圆锥角膜指数 (keratoconus index, KI))。采用角膜生物力学分析仪 (Corvis ST, 德国 Oculus 公司) 测量角膜生物力学参数, 包括距角膜顶点 2 mm 处的形变幅度比值 (deformation amplitude ratio, DA ratio)、最大压陷时的形变幅度 (deformation amplitude, DA)、最大压陷反向曲率半径 (central curvature radius at highest concavity, HCR)、最大压陷峰距 (peak distance, PD)、第 1 次压平硬度指数 (stiffness parameter applanation 1, SP-A1)、最薄点与水平方向角膜厚度变化率比值 (Ambrósio relational thickness, ARTh)、应力应变指数 (stress-strain index, SSI)、综合半径指数 (integrated inverse concave radius, IR)、Belin/Ambrosio 综合偏差值 (Belin/Ambrosio enhanced ectasia display, BAD-D)、Corvis 生物力学指数 (Corvis biomechanical index, CBI)、断层地形图联合生物力学指数 (tomographic and biomechanical index, TBI)。记录所植入供体角膜基质透镜厚度、直径。所有检查均由同一经验丰富的技师重复测量 3 次, 取平均值。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 26.0 统计学软件对数据进行统计分析。计量资料经 Shapiro-Wilk 检验证实符合正态分布者, 以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 不同时间点各参数总体比较采用重复测量方差分析 (不满足方差齐性的数据采用 Greenhouse-Geisser 法校正), 两两比较采用 LSD-*t* 检验; 不满足正态分布者以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示, 不同时间点各参数总体比较采用 Friedman 检验, 两两比较采

用 Wilcoxon 符号秩检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 手术前后不同时间点 BCVA 和 SE 比较

手术前后不同时间点 BCVA 总体比较差异无统计学意义 ($\chi^2 = 5.044, P = 0.283$); 术后 SE 有增加趋势, 手术前后不同时间点 SE 总体比较差异无统计学意义 ($F = 3.660, P = 0.053$) (表 1)。

表 1 手术前后不同时间点 BCVA 和 SE 比较 ($n = 16$)
Table 1 Comparison of BCVA and SE at different time points before and after surgery ($n = 16$)

时间	BCVA [$M(Q_1, Q_3)$] [#]	SE ($\bar{x} \pm s, D$) [*]
术前	0.52 (0.43, 0.79)	-11.01 ± 6.61
术后 20 d	0.56 (0.43, 0.79)	-14.65 ± 6.51
术后 3 个月	0.60 (0.52, 0.68)	-14.83 ± 6.39
术后 6 个月	0.56 (0.33, 1.23)	-15.87 ± 4.28
术后 12 个月	0.52 (0.30, 0.68)	-15.88 ± 5.05
χ^2/F 值	5.044	3.660
<i>P</i> 值	0.283	0.053

注: (#: Friedman 检验; *: 单因素方差分析) BCVA: 最佳矫正视力; SE: 等效球镜度

Note: (#: Friedman test; *: One-way ANOVA) BCVA: best corrected visual acuity; SE: spherical equivalent

2.2 手术前后不同时间点角膜形态学参数比较

术后前表面角膜曲率及角膜厚度均较术前增大, 前表面高度、后表面高度均较术前降低, 并在术后保持稳定 (图 1)。

手术前后不同时间点 FK1、FK2、BK1 和 BK2 总体比较, 差异均有统计学意义 ($F = 22.967, 19.401, 6.062, 13.752$, 均 $P < 0.01$), 其中术后各时间点 FK1 均较术前增加, BK2 均较术前降低, 术后 3、6、12 个月 FK2 均较术前增加, 术后 3 个月 BK1 较术前降低, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。手术前后不同时间点 FKmax 总体比较, 差异无统计学意义 ($\chi^2 = 3.325, P > 0.05$)。手术前后不同时间点角膜顶点厚度、最薄点厚度、最薄点前表面高度、最薄点后表面高度、IHD、顶点后表面高度、IVA 总体比较, 差异均有统计学意义 ($F = 34.190, 40.671, 23.871, 3.127, 10.127, \chi^2 = 16.450, 28.757$, 均 $P < 0.05$), 其中术后各时间点角膜顶点厚度、最薄点厚度均较术前明显增加, IVA 均较术前明显降低, 术后 20 d、3 个月、6 个月最薄点前表面高度均较术前明显降低, 术后 20 d、6 个月、12 个月最薄点后表面高度均较术前明显降低, 术后

3 个月、6 个月角膜顶点后表面高度均较术前明显降低, 术后 6 个月 IHD 较术前降低, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。手术前后不同时间点角膜顶点前

表面高度、IHA、ISV、KI 总体比较, 差异均无统计学意义 ($\chi^2 = 4.000, 3.596, F = 1.736, 1.621$, 均 $P > 0.05$) (表 2)。

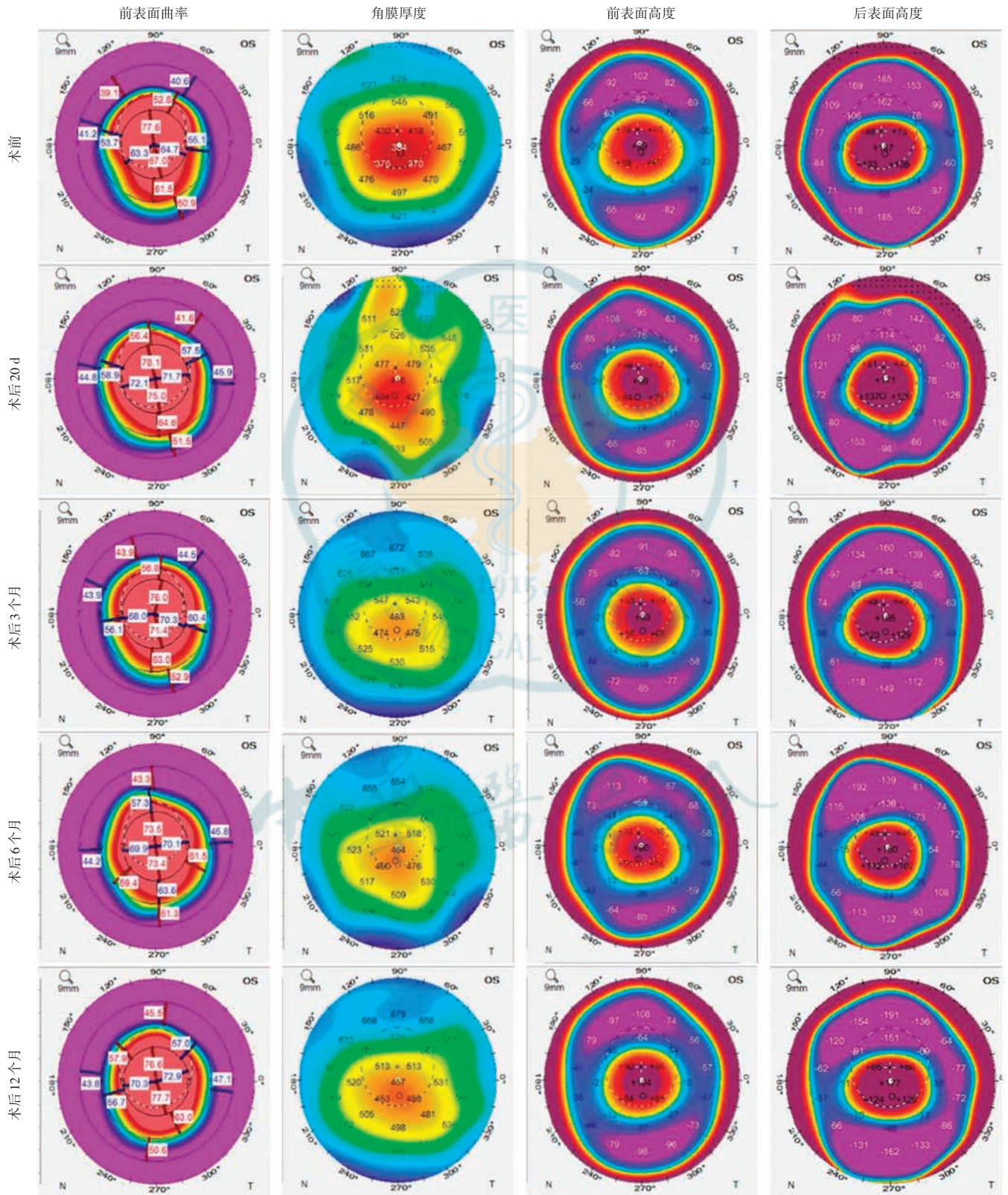


图 1 手术前后不同时间点角膜形态学图像 术后角膜前表面曲率及角膜厚度较术前增加, 前表面高度、后表面高度均较术前降低

Figure 1 Corneal morphological images at different time points before and after surgery After surgery, the anterior corneal surface curvature and corneal thickness increased compared with preoperative values, while both anterior and posterior surface elevation decreased compared with preoperative levels

表 2 手术前后不同时间点角膜形态学参数比较 (n=16)
Table 2 Comparison of corneal morphological parameters at different time points before and after surgery (n=16)

时间	FK1 ($\bar{x}\pm s, D$) [*]	FK2 ($\bar{x}\pm s, D$) [*]	BK1 ($\bar{x}\pm s, D$) [*]	BK2 ($\bar{x}\pm s, D$) [*]	FKmax [$M(Q_1, Q_3), D$] [#]
术前	52.76±5.64	57.40±5.95	-7.85±1.09	-8.87±1.17	62.90(58.53, 70.35)
术后 20 d	55.39±6.21 ^a	58.84±6.56	-7.65±1.23	-8.36±1.16 ^a	62.10(58.90, 66.30)
术后 3 个月	55.42±5.52 ^a	59.76±6.38 ^a	-7.49±1.05 ^a	-8.29±1.14 ^a	62.05(57.78, 69.13)
术后 6 个月	55.65±5.40 ^a	59.34±5.48 ^a	-7.56±1.07	-8.30±1.06 ^a	61.85(58.48, 67.58)
术后 12 个月	53.20±5.38 ^a	58.90±6.35 ^a	-7.64±1.06	-8.39±1.18 ^a	61.85(58.70, 67.48)
<i>F</i> / <i>X</i> ² 值	22.967	19.401	6.062	13.752	3.325
<i>P</i> 值	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.505

时间	角膜顶点厚度 ($\bar{x}\pm s, \mu m$) [*]	角膜最薄点厚度 ($\bar{x}\pm s, \mu m$) [*]	最薄点前表面高度 ($\bar{x}\pm s, \mu m$) [*]	最薄点后表面高度 ($\bar{x}\pm s, \mu m$) [*]	顶点前表面高度 [$M(Q_1, Q_3), \mu m$] [#]
术前	384.00±21.65	377.50±19.78	33.50±19.25	75.50±42.90	26.00(18.75, 38.50)
术后 20 d	479.63±32.55 ^a	454.44±37.48 ^a	18.19±26.17 ^a	58.75±40.10 ^a	22.00(16.75, 30.75)
术后 3 个月	492.50±36.25 ^a	461.00±40.75 ^a	19.06±31.44 ^a	62.75±38.81	27.50(15.75, 42.50)
术后 6 个月	488.88±23.93 ^a	469.25±30.51 ^a	19.81±30.49 ^a	58.94±42.43 ^a	29.00(18.00, 37.75)
术后 12 个月	488.25±24.26 ^a	474.25±32.78 ^{abc}	24.69±29.64	59.13±41.45 ^a	27.50(15.25, 33.50)
<i>F</i> / <i>X</i> ² 值	34.190	40.671	23.871	3.127	4.000
<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	<0.001	0.021	0.406

时间	顶点后表面高度 [$M(Q_1, Q_3), \mu m$] [#]	ISV ($\bar{x}\pm s$) [#]	IHA [$M(Q_1, Q_3)$] [#]	IVA [$M(Q_1, Q_3)$] [#]	IHD ($\bar{x}\pm s$) [*]	KI ($\bar{x}\pm s$) [*]
术前	53.00 (35.50, 74.50)	119.38±40.89	33.90 (15.93, 71.05)	0.89 (0.59, 1.14)	0.15±0.06	1.33±0.15
术后 20 d	49.00 (28.50, 65.50)	107.50±44.50	35.20 (9.45, 56.10)	0.64 (0.52, 0.90) ^a	0.13±0.07	1.30±0.17
术后 3 个月	39.00 (27.75, 65.25) ^a	123.81±41.58	22.70 (6.38, 45.25)	0.60 (0.46, 0.74) ^a	0.10±0.08	1.29±0.17
术后 6 个月	41.50 (26.75, 66.25) ^a	120.81±37.83	26.00 (16.75, 49.15)	0.54 (0.47, 0.75) ^a	0.11±0.06 ^a	1.32±0.15
术后 12 个月	40.00 (31.25, 67.00)	120.81±40.69	30.05 (23.10, 51.53)	0.59 (0.44, 1.12) ^a	0.12±0.07	1.32±0.15
χ^2 / <i>F</i> 值	16.450	1.736	3.596	28.757	10.127	1.621
<i>P</i> 值	0.002	0.784	0.463	<0.001	0.038	0.805

注：与术前比较，^a*P*<0.05；与术后 20 d 比较，^b*P*<0.05；与术后 3 个月比较，^c*P*<0.05（*：单因素方差分析，LSD-*t* 检验；#：Friedman 检验，Wilcoxon 符号秩检验）FK1：角膜前表面平轴曲率；FK2：角膜前表面陡轴曲率；BK1：角膜后表面平轴曲率；BK2：角膜后表面陡轴曲率；FKmax：角膜前表面最大曲率；ISV：表面变异指数；IHA：高度非对称性指数；IVA：垂直非对称性指数；IHD：高度轴偏心指数；KI：圆锥角膜指数

Note: Compared with preoperative values, ^a*P*<0.05; compared with 20 days after surgery, ^b*P*<0.05; compared with 3 months after surgery, ^c*P*<0.05 (*: One-way ANOVA, LSD-*t* test; #: Friedman test, Wilcoxon signed-rank test) FK1: the flat-axis curvature of the anterior corneal surface; FK2: the steep-axis curvature of the anterior corneal surface; BK1: the flat-axis curvature of the posterior corneal surface; BK2: the steep-axis curvature of the posterior corneal surface; FKmax: the maximum curvature of the anterior corneal surface; ISV: index of surface variance; IHA: index of height asymmetry; IVA: index of vertical asymmetry; IHD: index of height decentration; KI: keratoconus index

2.3 手术前后不同时间点角膜生物力学参数比较

术后 ARTh、SP-A1 均较术前增大，DA Ratio、IR 均较术前减少，并在术后保持稳定（图 2）。

手术前后不同时间点 TBI、DA Ratio、ARTh、IR、BAD-D、SP-A1、HCR、PD 总体比较差异均有统计学意义（ $\chi^2 = 12.550, 10.339, 16.658, 19.130, F = 16.927, 4.786, 11.497, 4.265$ ，均 *P*<0.05），其中术后 3 个月

TBI、DA Ratio 均较术前减小，术后 6、12 个月 BAD-D、IR 均较术前降低，ARTh 均较术前增加，术后 20 d、6 个月、12 个月 SP-A1 均较术前增加，术后 6 个月 HCR 较术前增加，术后 20 d PD 较术前降低，差异均有统计学意义（均 *P*<0.05）。手术前后不同时间点 CBI、DA、SSI 总体比较，差异均无统计学意义（ $\chi^2 = 8.776, 1.953, F = 2.835$ ，均 *P*>0.05）（表 3）。

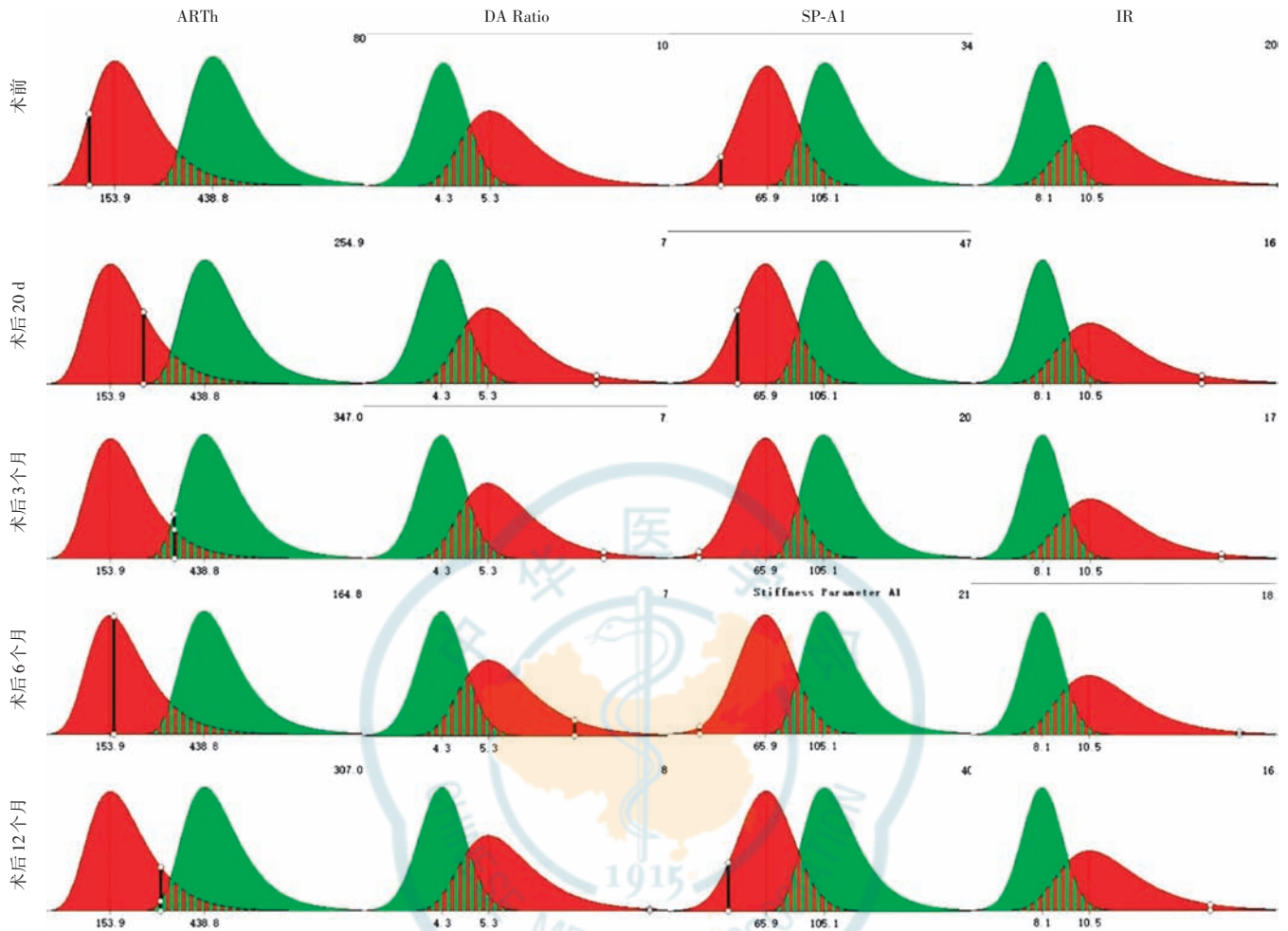


图 2 手术前后不同时间点角膜生物力学图像 术后 ARTh 及 SP-A1 较术前增加, DA Ratio 及 IR 较术前减小 ARTh:最薄点与水平方向角膜厚度变化率比值; DA Ratio:距顶点 2 mm 处的形变幅度比值; SP-A1:第 1 次压平硬度指数; IR:综合半径指数

Figure 2 Corneal biomechanical images at different time points before and after surgery Postoperative ARTh and SP-A1 were increased compared to preoperative measurements, whereas the postoperative DA Ratio and IR were decreased compared to their preoperative values ARTh: Ambrósio relational thickness; DA Ratio: deformation amplitude ratio; SP-A1: stiffness parameter applanation 1; IR: integrated inverse concave radius

2.4 不良反应发生情况

随访期间,术后第 1 天裂隙灯显微镜检查显示角膜基质透镜轻度水肿,3 例患者上方切口处出现角膜上皮缺损,术后 1 周内角膜基质透镜基本恢复透明,角膜上皮完整。裂隙灯显微镜及角膜共聚焦显微镜结果显示所有患者均未观察到感染、上皮植入、基质透镜褶皱、融解及移位,未见角膜混浊、角膜溃疡、同种异体角膜移植免疫排斥等不良反应。

3 讨论

SLAK 手术最初应用于远视的矫正,术后炎症反应轻,并且角膜基质透镜所处的角膜基质囊袋为无菌环境,发生免疫排斥和感染风险更低;此外,该手术可避免缝合瘢痕,愈合反应更轻。而 CXL 通过增强角膜胶原纤维之间的交联作用,形成新的共价键来提升角膜的强度、改善生物力学性能,从而阻止或者延缓圆锥

角膜进展^[1,6-7]。但由于部分患者对圆锥角膜的认识有限,病情延误导致就诊时角膜厚度低于 400 μm,已不适合接受传统的 CXL 治疗。当前角膜组织供源缺乏的形势下,角膜基质透镜作为特殊的角膜移植植物,可有效增加角膜厚度,用于圆锥角膜的治疗^[13]。研究发现 SLAK-CXL 可以增加角膜厚度并改善角膜的不规整形态^[10-14],尤其对于尚未进展至终末期、仍有“保存潜力”的进展性薄角膜圆锥患者。该手术通过稳定角膜阻止圆锥角膜进一步发展,避免角膜移植或显著推迟患者需进行角膜移植的时间点,为患者争取更长的自身角膜保有期和更好的生活质量;同时可最大程度保护患者角膜结构的生物力学完整性,利用自身组织实现角膜稳定化,不损伤自身角膜基质和内皮。此外,该手术具有微创、恢复快、免疫排斥反应风险低的优势^[13]。因此对薄角膜型圆锥角膜患者,从角膜形态和生物力学角度评估 SLAK-CXL 治疗的安全性和有效性,具有重要意义。

表 3 手术前后不同时间点角膜生物力学参数比较 (n=16)
Table 3 Comparison of corneal biomechanical parameters at different time points before and after surgery (n=16)

时间	TBI [M(Q ₁ , Q ₃)] [#]	CBI [M(Q ₁ , Q ₃)] [#]	BAD-D ($\bar{x}\pm s$) [*]	SSI ($\bar{x}\pm s$) [*]	SP-A1 ($\bar{x}\pm s$) [*]	HCR ($\bar{x}\pm s$) [*]
术前	1.00(1.00,1.00)	1.00(1.00,1.00)	13.49±4.04	0.64±0.12	43.24±10.38	4.63±1.06
术后 20 d	1.00(0.94,1.00)	1.00(1.00,1.00)	11.44±5.52	0.61±0.14	51.71±11.32 ^a	4.88±0.86
术后 3 个月	1.00(0.92,1.00) ^a	1.00(0.99,1.00)	10.98±5.44	0.57±0.16	50.89±15.78	4.99±0.80
术后 6 个月	1.00(0.94,1.00)	1.00(0.99,1.00)	10.31±5.24 ^a	0.57±0.14	53.91±14.60 ^a	5.64±1.75 ^a
术后 12 个月	1.00(0.94,1.00)	1.00(1.00,1.00)	9.63±5.37 ^a	0.60±0.16	54.68±11.58 ^a	5.28±1.06
χ^2/F 值	12.550	8.776	16.927	2.835	4.786	11.497
P 值	0.014	0.067	0.002	0.061	0.011	0.022

时间	DA [M(Q ₁ , Q ₃)] [#]	DA Ratio [M(Q ₁ , Q ₃)] [#]	ARTh [M(Q ₁ , Q ₃)] [#]	IR [M(Q ₁ , Q ₃)] [#]	PD ($\bar{x}\pm s$) [*]
术前	1.36(1.25,1.46)	7.10(6.43,8.84)	128.40(97.48,153.63)	13.50(12.45,14.49)	5.18±0.30
术后 20 d	1.30(1.21,1.35)	6.30(5.85,7.05)	173.15(123.28,266.98)	12.65(11.65,13.28)	4.89±0.26 ^a
术后 3 个月	1.33(1.27,1.37)	6.45(5.93,6.98) ^a	196.60(143.90,368.45)	12.65(11.28,14.10)	5.14±0.29
术后 6 个月	1.28(1.23,1.47)	6.10(5.80,6.90)	225.40(155.88,665.45) ^a	11.70(10.80,13.80) ^a	5.15±0.27
术后 12 个月	1.29(1.23,1.42)	5.90(5.80,6.90)	221.50(154.30,447.30) ^a	11.50(10.50,13.83) ^a	5.09±0.20
χ^2/F 值	1.953	10.339	16.658	19.130	4.265
P 值	0.744	0.035	0.002	0.001	0.004

注:与术前比较,^aP<0.05(#:Friedman 检验,Wilcoxon 符号秩检验;* :单因素方差分析,LSD-t 检验) TBI:断层地形图联合生物力学指数;CBI:Corvis 生物力学指数;BAD-D:Belin/Ambrosio 综合偏差值;SSI:应力应变指数;SP-A1:第 1 次压平硬度指数;HCR:最大压陷反向曲率半径;DA:最大压陷时的形变幅度;DA Ratio:距顶点 2 mm 处的形变幅度比值;ARTh:最薄点与水平方向角膜厚度变化率比值;IR:综合半径指数;PD:最大压陷峰距
Note: Compared with preoperative values, ^aP<0.05 (#: Friedman test, Wilcoxon signed-rank test; *: One-way ANOVA, LSD-t test) TBI: topographic map combined with biomechanical index; CBI: Corvis biomechanical index; BAD-D: Belin/Ambrosio enhanced ectasia display; SSI: stress-strain index; SP-A1: stiffness parameter applanation 1; HCR: central curvature radius at highest concavity; DA: deformation amplitude; DA Ratio: deformation amplitude ratio at 2 mm; ARTh: Ambrósio relational thickness; IR: integrated inverse concave radius; PD: peak distance

本研究中圆锥角膜患者术后 SE 较术前升高,因植入的基质透镜植片来自近视屈光不正患者,但患者的 BCVA 并未发生明显改变。若使用不引起近视的平面透镜或能同时矫正屈光不正的凹透镜作为植入的基质替代物,将是最优的方案。未来可考虑植入 SMILE 矫正远视患者所获取的角膜基质凹透镜,有望获得更理想的屈光矫正效果。

本研究发现术后患者 FK1 和 FK2 均较术前增大,但对于中晚期圆锥角膜患者而言,既往研究显示这种曲率的改变并不会影响其生活质量^[14]。本研究同时发现,术后 BK1 和 BK2 较术前降低,这是否与植入的透镜凸面向下及基质囊袋处于深基质层有关,尚需要进一步证实。本研究结果还显示,术后 IVA 及 IHD 较术前均降低,提示 SLAK-CXL 在影响角膜曲率的同时,可使角膜形态趋向更规整,若联合巩膜镜或硬性角膜接触镜的验配,或可进一步提高患者的 BCVA,改善患者视觉质量。本研究未能系统评估 CXL 术后患者对巩膜镜或硬性角膜接触镜的耐受性及 BCVA 的变化,这主要源于术后早期眼部不适,且大部分患者对巩膜镜或硬性角膜接触镜的认知不足,接受度和配合度较

低。在后续研究中,可通过加强科普宣教,优化研究方案,并将标准化验配流程、耐受性评价量表、矫正视力对比分析等系统评估相关指标作为长期随访研究的内容。

目前,关于基质囊袋深度的设定并未达成共识。根据比尔-朗伯定律,紫外线吸收量随角膜深度的增加呈指数下降,这意味着基质越厚,同质性越高,囊袋更接近角膜内皮面,导致 CXL 的安全性、有效性难以保障,并且更靠后的基质透镜对角膜前表面的曲率改变更有限^[15-16]。在后期研究中,可在 CXL 安全的范围内,根据圆锥角膜患者的角膜厚度个性化制作角膜基质囊袋深度,以进一步优化治疗效果。

本研究中,圆锥角膜患者术后的角膜顶点厚度及最薄点厚度均较术前明显增加,并在术后 20 d 趋于稳定;同时,术后最薄点角膜前、后表面高度均较术前明显下降,表明 SLAK-CXL 可以通过增加角膜组织厚度实现角膜胶原的重新排列,从而改善角膜的生物形态,提高角膜硬度,延缓或阻止圆锥角膜的发展,与 Gao 等^[17] 和刘明娜等^[18] 的研究结果相一致。Ganesh 等^[19] 和 Wei 等^[20] 采用屈光手术获取角膜基质透镜,

在角膜中心 3 mm 处进行钻孔制备“甜甜圈”形透镜组织。该方法虽然没有明显增加 SE,但角膜中央厚度相对增加量更低、角膜曲率的不规整未得到明显改善;此外,“甜甜圈”形透镜组织要求锥顶位于角膜中央 3 mm 范围内,如果偏心植入会引入更大的彗差,降低视觉质量,并且这种类型的透镜组织中央部易有细微的皱褶,也会降低视觉质量。圆锥角膜的锥顶多呈偏心分布,如何在上述因素间达成平衡以获得更好的治疗效果,是进一步研究的方向。最新指南提出,可以通过准分子激光对基质透镜植片进行修饰以获得更理想的屈光状态^[13],后续的研究中会进行更深入的个性化设计,在保障圆锥角膜患者病情稳定的情况下,获取更好的视觉质量。

研究显示,IR 和 DA Ratio 是评价角膜生物力学合适的参数,因其独立于眼压,且与角膜厚度和年龄相关^[21-23]。本研究结果显示,患者术后 DA Ratio、IR 均较术前下降,而 ARTh、SP-A1 均较术前显著升高,表明 SLAK-CXL 能够降低角膜变形能力,提高角膜整体硬度,从力学的角度印证这种方法具有良好的稳定性和显著的有效性。SSI 是一种新的参数,可评估角膜材料刚度,同时减少眼压和角膜几何形状(厚度和形状)的干扰。但需要注意的是,SSI 算法仅被批准用于正常角膜,暂不适用于圆锥角膜^[24]。本研究中,SSI 较术前轻度下降,虽然差异无统计学意义,但从另一方面也表明,SSI 并非圆锥角膜术后患者角膜生物力学的有效评价指标。

本研究中,所有患者随访期间均未出现感染、角膜基质透镜炎症浸润以及免疫排斥反应,进一步说明了 SLAK-CXL 的安全性和稳定性。

综上,本研究结果显示,从角膜形态学和生物力学角度评估 SLAK-CXL 治疗较薄型圆锥角膜,短期内展现出良好的安全性和有效性,具有较好的临床适用性。然而,本研究仍存在一定的局限性:样本量小、随访时间较短,且缺乏不同手术方案的比较(如术中采用不同交联参数设计能否具有相同的临床效果),尚未明确 SLAK-CXL 适用的最薄术前角膜厚度、植入透镜度数与最终 SE 之间的关系等。故后期还需继续扩大样本量、延长随访时间,并通过多中心研究进一步对比不同手术方案、不同交联方式治疗较薄型圆锥角膜患者的有效性及安全性,为该类患者提供多种手术选择并制定个性化手术方案。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 刘洋:参与研究设计、数据采集方案制定、患者随访协调、数据分析与解读、文章撰写及修改;韩雨:参与收集数据、数据统计

分析、图表制作、结果部分撰写;秦艺璇:负责病例筛选标准制定、临床数据规范化提取;王媛茹、任英华、马臻、王政来、张金金:参与患者入组与随访管理、伦理审查文件准备、研究流程规范化记录、数据收集;庄文娟:参与研究设计、监督项目执行与数据收集、解决方法争议、对论文学术质量与伦理合规性负最终责任、文章修订决策及定稿

参考文献

- [1] 中华医学会眼科学分会角膜病学组. 中国圆锥角膜诊断和治疗专家共识(2019 年)[J]. 中华眼科杂志, 2019, 55(12): 891-895. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2019.12.004.
- [2] Mas Tur V, MacGregor C, Jayaswal R, et al. A review of keratoconus: diagnosis, pathophysiology, and genetics[J]. Surv Ophthalmol, 2017, 62(6): 770-783. DOI: 10.1016/j.survophthal.2017.06.009.
- [3] Galvis V, Sherwin T, Tello A, et al. Keratoconus: an inflammatory disorder?[J]. Eye (Lond), 2015, 29(7): 843-859. DOI: 10.1038/eye.2015.63.
- [4] Jonas JB, Nangia V, Matin A, et al. Prevalence and associations of keratoconus in rural maharashtra in central India: the central India eye and medical study[J]. Am J Ophthalmol, 2009, 148(5): 760-765. DOI: 10.1016/j.ajo.2009.06.024.
- [5] Hashemi H, Heydarian S, Hooshmand E, et al. The prevalence and risk factors for keratoconus: a systematic review and meta-analysis[J]. Cornea, 2020, 39(2): 263-270. DOI: 10.1097/ICO.0000000000002150.
- [6] Soeters N, Wisse RP, Godefruij DA, et al. Transepithelial versus epithelium-off corneal cross-linking for the treatment of progressive keratoconus: a randomized controlled trial [J]. Am J Ophthalmol, 2015, 159(5): 821-828. DOI: 10.1016/j.ajo.2015.02.005.
- [7] 宋妍, 黄琛, 禹晓童, 等. 基于文献计量学的我国圆锥角膜研究热点及演进趋势分析[J]. 中华眼科杂志, 2024, 60(2): 156-167. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20231009-00126. Song Y, Huang C, Yu XT, et al. Research hot spots and trends of keratoconus in China: a bibliometric analysis[J]. Chin J Ophthalmol, 2024, 60(2): 156-167. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20231009-00126.
- [8] Mazzotta C, Traversi C, Baiocchi S, et al. Corneal collagen cross-linking with riboflavin and ultraviolet a light for pediatric keratoconus: ten-year results[J]. Cornea, 2018, 37(5): 560-566. DOI: 10.1097/ICO.0000000000001505.
- [9] Mastropasqua L, Nubile M, Salgari N, et al. Femtosecond laser-assisted stromal lenticule addition keratoplasty for the treatment of advanced keratoconus: a preliminary study[J]. J Refract Surg, 2018, 34(1): 36-44. DOI: 10.3928/1081597X-20171004-04.
- [10] Jin H, He M, Liu H, et al. Small-incision femtosecond laser-assisted intracorneal concave lenticule implantation in patients with keratoconus [J]. Cornea, 2019, 38(4): 446-453. DOI: 10.1097/ICO.0000000000001877.
- [11] Pedrotti E, Cozzini T, Fasolo A, et al. Small-incision lenticule addition in *ex vivo* model of ectatic human corneas[J]. Int Ophthalmol, 2019, 39(11): 2575-2581. DOI: 10.1007/s10792-019-01106-8.
- [12] Pedrotti E, Bonacci E, Fasolo A, et al. Meniscus-shaped stromal lenticule addition keratoplasty for corneal regularization and thickening in advanced keratoconus [J]. Cornea, 2023, 42(10): 1221-1228. DOI: 10.1097/ICO.0000000000003144.
- [13]《角膜基质透镜移植手术技术规范专家共识(2025)》专家组, 中国民族卫生协会眼学科分会屈光学组和视光专家委员会. 角膜基质透镜移植手术技术规范专家共识(2025)[J]. 中华实验眼科杂志, 2025, 43(12): 1081-1088. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250721-00234. Expert workgroup of Expert consensus on surgical techniques for corneal stromal lenticule transplantation (2025), Division of Refractive Surgery & Committee of Optometry Experts, Branch of Ophthalmology, China National Health Association. Expert consensus on surgical techniques for corneal stromal lenticule transplantation (2025) [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2025, 43(12): 1081-1088. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20250721-00234.

- [14] Pedrotti E, Caldarella G, Fasolo A, et al. Topographic and biomechanical changes after application of corneal cross-linking in recurrent keratoconus [J]. Int J Environ Res Public Health, 2019, 16(20): 3872. DOI: 10.3390/ijerph16203872.
- [15] Sachdev GS, Sachdev R, Sachdev MS. Intra corneal ring segment implantation with lenticule assisted stromal augmentation for crosslinking in thin corneas [J]. Am J Ophthalmol Case Rep, 2020, 19: 100726. DOI: 10.1016/j.ajoc.2020.100726.
- [16] Riau AK, Htoon HM, Alió Del Barrio JL, et al. Femtosecond laser-assisted stromal keratophakia for keratoconus: a systemic review and meta-analysis [J]. Int Ophthalmol, 2021, 41(5): 1965-1979. DOI: 10.1007/s10792-021-01745-w.
- [17] Gao H, Liu M, Li N, et al. Femtosecond laser-assisted minimally invasive lamellar keratoplasty for the treatment of advanced keratoconus [J]. Clin Exp Ophthalmol, 2022, 50(3): 294-302. DOI: 10.1111/ceo.14047.
- [18] 刘明娜, 李娜, 田歌, 等. 飞秒激光辅助的微创板层角膜移植术治疗完成期圆锥角膜的安全性和有效性 [J]. 中华眼科杂志, 2023, 59(4): 288-294. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20220517-00249. Liu MN, Li N, Tian G, et al. Femtosecond laser-assisted minimally invasive lamellar keratoplasty for advanced keratoconus [J]. Chin J Ophthalmol, 2023, 59(4): 288-294. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20220517-00249.
- [19] Ganesh S, Brar S. Femtosecond intrastromal lenticular implantation combined with accelerated collagen cross-linking for the treatment of keratoconus—initial clinical result in 6 eyes [J]. Cornea, 2015, 34(10): 1331-1339. DOI: 10.1097/ICO.0000000000000539.
- [20] Wei Q, Ding H, Nie K, et al. Long-term clinical outcomes of small-incision femtosecond laser-assisted intracorneal concave lenticule implantation in patients with keratoconus [J]. J Ophthalmol, 2022, 2022: 9774448. DOI: 10.1155/2022/9774448.
- [21] Vinciguerra R, Elsheikh A, Roberts CJ, et al. Influence of pachymetry and intraocular pressure on dynamic corneal response parameters in healthy patients [J]. J Refract Surg, 2016, 32(8): 550-561. DOI: 10.3928/1081597X-20160524-01.
- [22] Niazi S, Del Barrio JA, Doroodgar F, et al. Biomechanical changes in keratoconus after customized stromal augmentation [J]. Taiwan J Ophthalmol, 2024, 14(1): 59-69. DOI: 10.4103/tjo.tjo-D-23-00155.
- [23] Pedrotti E, Bonacci E, Fasolo A, et al. Corneal biomechanical evaluation after meniscus-shaped stromal lenticule addition keratoplasty (MS-SLAK) for keratoconus [J]. J Refract Surg, 2023, 39(7): 499-504. DOI: 10.3928/1081597X-20230523-02.
- [24] Eliasy A, Chen KJ, Vinciguerra R, et al. Determination of corneal biomechanical behavior *in-vivo* for healthy eyes using CorVis ST Tonometry: stress-strain index [J]. Front Bioeng Biotechnol, 2019, 7: 105. DOI: 10.3389/fbioe.2019.00105.

(收稿日期:2025-10-21 修回日期:2025-12-29)

(本文编辑:张宇 施晓萌)

读者·作者·编者

眼科常用英文缩略语名词解释

- AMD: 年龄相关性黄斑变性 (age-related macular degeneration)
- ANOVA: 方差分析 (analysis of variance)
- BUT: 泪膜破裂时间 (breakup time of tear film)
- DR: 糖尿病视网膜病变 (diabetic retinopathy)
- EAU: 实验性自身免疫性葡萄膜炎 (experimental autoimmune uveitis)
- EGF: 表皮生长因子 (epidermal growth factor)
- ELISA: 酶联免疫吸附测定 (enzyme-linked immunosorbent assay)
- ERG: 视网膜电图 (electroretinogram)
- FFA: 荧光素眼底血管造影 (fundus fluorescein angiography)
- FGF: 成纤维细胞生长因子 (fibroblast growth factor)
- GFP: 绿色荧光蛋白 (green fluorescent protein)
- IFN- γ : γ 干扰素 (interferon- γ)
- IL: 白细胞介素 (interleukin)
- IOL: 人工晶状体 (intraocular lens)
- IRBP: 光间受体视黄类物质结合蛋白 (interphotoreceptor retinoid binding protein)
- LASIK: 准分子激光角膜原位磨镶术 (laser in situ keratomileusis)
- ICGA: 吲哚菁绿血管造影 (indocyanine green angiography)
- LECs: 晶状体上皮细胞 (lens epithelial cells)
- miRNA: 微小 RNA (microRNA)
- MMP: 基质金属蛋白酶 (matrix metalloproteinase)
- mTOR: 哺乳动物类雷帕霉素靶蛋白 (mammalian target of rapamycin)
- MTT: 四甲基偶氮唑盐 (methyl thiazolyl tetrazolium)
- NF: 核转录因子 (nuclear factor)
- OCT: 光学相干断层扫描 (optical coherence tomography)
- OR: 优势比 (odds ratio)
- PACG: 原发性闭角型青光眼 (primary angle-closure glaucoma)
- PCR: 聚合酶链式反应 (polymerase chain reaction)
- RGCs: 视网膜节细胞 (retinal ganglion cells)
- POAG: 原发性开角型青光眼 (primary open angle glaucoma)
- RB: 视网膜母细胞瘤 (retinoblastoma)
- RPE: 视网膜色素上皮 (retinal pigment epithelium)
- RNV: 视网膜新生血管 (retinal neovascularization)
- RP: 视网膜色素变性 (retinitis pigmentosa)
- S I t: 基础泪液分泌试验 (Schirmer I test)
- shRNA: 短发夹 RNA (short hairpin RNA)
- siRNA: 小干扰 RNA (small interfering RNA)
- α -SMA: α -平滑肌肌动蛋白 (α -smooth muscle actin)
- TAO: 甲状腺相关眼病 (thyroid-associated ophthalmopathy)
- TGF: 转化生长因子 (transforming growth factor)
- TNF: 肿瘤坏死因子 (tumor necrosis factor)
- UBM: 超声生物显微镜 (ultrasound biomicroscope)
- VEGF: 血管内皮生长因子 (vascular endothelial growth factor)
- VEP: 视觉诱发电位 (visual evoked potential)

(本刊编辑部)