

# SMILE 手术来源的角膜基质透镜的临床研究进展

冯蕊, 蒋林志, 曾静

引用: 冯蕊, 蒋林志, 曾静. SMILE 手术来源的角膜基质透镜的临床研究进展. 国际眼科杂志 2019; 19(8): 1334-1337

基金项目: 广西重点研发计划项目 (No. 桂科 AB18221038)  
作者单位: (530022) 中国广西壮族自治区南宁市, 广西医科大学第一附属医院眼科  
作者简介: 冯蕊, 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 屈光手术。  
通讯作者: 蒋林志, 医学硕士, 教授, 主任医师, 研究方向: 屈光手术. gxjzhi@163.com  
收稿日期: 2019-01-10 修回日期: 2019-07-04

## 摘要

飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术 (small incision lenticule extraction, SMILE) 因其良好的安全性和屈光可预测性广泛应用于近视矫正。而 SMILE 手术来源的角膜基质透镜作为良好的生物材料, 可用于修补角膜溃疡和穿孔, 治疗远视、老视、圆锥角膜等眼科疾病, 逐渐成为研究热点。本文将针对 SMILE 手术来源的角膜基质透镜在眼科领域中的临床研究进展进行综述。

**关键词:** 微小切口角膜基质透镜取出术; 角膜基质透镜; 角膜溃疡; 角膜穿孔; 远视; 圆锥角膜

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2019.8.16

## Clinical research progress of SMILE - derived lenticule

Rui Feng, Lin-Zhi Jiang, Jing Zeng

**Foundation item:** Guangxi Key R&D Program (No. AB18221038)  
Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530022, Guangxi Province, China

**Correspondence to:** Lin-Zhi Jiang. Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530022, Guangxi Province, China. gxjzhi@163.com

Received: 2019-01-10 Accepted: 2019-07-04

## Abstract

• SMILE (small incision lenticule extraction) is widely used in myopia correction because of its safety and predictability. SMILE-derived lenticule is a kind of good biomaterial that can be used to repair corneal ulcer and perforation, treat hyperopia, presbyopia, keratoconus and other ophthalmic diseases. It has the potential of becoming the research hotspot in the future. Therefore, this review summarizes the clinical research progress of SMILE - derived lenticule in the field of ophthalmology.

• **KEYWORDS:** SMILE; corneal stromal lenticule; corneal ulcer; corneal perforation; hyperopia; keratoconus

**Citation:** Feng R, Jiang LZ, Zeng J. Clinical research progress of SMILE-derived lenticule. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2019; 19(8): 1334-1337

## 0 引言

飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术 (small incision lenticule extraction, SMILE) 是利用飞秒激光治疗近视的新型微创角膜屈光手术, 在角膜内完成两次脉冲扫描, 制作出角膜基质透镜从小切口取出。最早的飞秒激光基质透镜取出术 (FLEX 术) 见于 2008 年<sup>[1]</sup>, 随着手术方式不断改良, SMILE 手术逐渐取代 FLEX 术。Sekundo 等<sup>[2]</sup>首次对 SMILE 手术前后行临床对比, 认为 SMILE 手术是一种患者满意度高、治疗效果好的近视矫正方法。同时, SMILE 手术在术后眼表情况、生物力学、角膜波前像差方面有其优势<sup>[3-5]</sup>。随着 SMILE 手术的普及, 大量国内外文献报道, SMILE 手术来源的角膜基质透镜作为一种良好的生物材料可以用来修补角膜溃疡和穿孔, 治疗远视、老视、圆锥角膜等眼科疾病。尤其对于发展中国家, 由于捐赠角膜的巨大经济成本导致的角膜供体严重缺乏。因此, 角膜基质透镜的潜在价值和临床适用领域不断扩展, 成为眼科疾病治疗的研究热点, 但现有大部分文献仅针对某种眼科疾病介绍角膜基质透镜的治疗效果, 较少有文献对其临床应用进行完整而全面的阐述。本文即针对 SMILE 手术来源的角膜基质透镜在眼科领域中的临床研究进展进行综述, 提供眼科疾病治疗的新思路。

## 1 角膜基质透镜移植治疗角膜穿孔和溃疡

角膜病是我国主要致盲性眼病之一。角膜溃疡与穿孔若不迅速处理, 会引起眼内感染和失明。目前的治疗方式主要有角膜接触镜、结膜瓣遮盖、羊膜移植和角膜移植术, 而角膜移植术是治疗严重角膜疾病和眼表疾病的有效手术方式<sup>[6]</sup>。我国角膜致盲患者每年新增 20 万人, 而每年仅约 1 万人能通过角膜移植手术复明。供体材料的严重缺乏阻碍了治疗的进程, 严重限制我国复明性角膜移植手术的开展<sup>[7]</sup>。SMILE 手术来源的角膜基质透镜移植将在一定程度上缓解该问题。

**1.1 直接缝合角膜基质透镜修补角膜溃疡和穿孔** Wu 等<sup>[8]</sup>用中心厚度 > 100 μm 的角膜基质透镜对 6 例角膜穿孔患者行直接缝合修补, 随访未见感染、复发或穿孔迹象。此后, Jiang 等<sup>[9]</sup>对 14 例角膜溃疡和 6 例角膜穿孔患者依据残余角膜厚度行单层或多层角膜基质透镜移植, 术后眼球完整性好, 视力提高。该研究指出: (1) 角膜基质透镜移植除可修补角膜溃疡与穿孔, 还可减轻炎症反应。但该研究只在裂隙灯下进行直观对比, 并无量化指标, 未从细胞和分子水平进行研究与论证, 仍需要进一步讨论。(2)

3例患者术后3mo因残余角膜厚度 $<250\mu\text{m}$ 再次手术,随访未见特殊,说明该手术方式具有可重复性。(3)该研究认为再次手术与是否为炎症性或免疫性角膜溃疡和穿孔无明显相关性。这与薛春燕等<sup>[10]</sup>看法不同,后者认为非感染性角膜穿孔愈合时间相对短,而真菌感染患者愈合时间长,甚至需要更换角膜板层植片。因此,炎症性与非炎症性的角膜溃疡和穿孔行角膜基质透镜移植后的临床预后是否具有统计学差异有待进一步讨论。

单片角膜基质透镜由于中央厚、周边薄,应用范围受到局限。因此,高颖等<sup>[11]</sup>尝试更改植片形状,将 $-80^{\circ}\text{C}$ 冰冻保存的角膜基质透镜叠加缝合后治疗 Terrien 边缘角膜变性和 Mooren 角膜溃疡,预后良好。综上,角膜基质透镜通过直接缝合修补角膜穿孔和溃疡安全有效,但需注意:(1)细菌和真菌角膜溃疡与穿孔,术前需联合有效抗菌药物。郝晓凤等<sup>[12]</sup>利用角膜基质透镜直接移植,术后无1例重新移植,认为与长期有效的抗菌治疗方案有关。(2)移植前应充分清除坏死角膜组织和角膜血管翳,术中注意避开视轴,防止出现角膜瘢痕,减少术后散光。(3)术前使用 OCT 评估角膜病变的深度和范围,在角膜溃疡或穿孔较深时使用多片透镜提高成功率<sup>[9]</sup>。(4)术中操作防止穿孔,如出现穿孔,可考虑行周边虹膜切除术防止术后并发症。部分真菌性角膜溃疡易出现虹膜与角膜穿孔处术后黏连导致术后房角关闭,要充分考虑该情况,适当采取预防措施<sup>[10-11]</sup>。

**1.2 纤维蛋白胶粘合角膜基质透镜修补角膜溃疡和穿孔** 角膜基质透镜直接缝合移植简单易行,但 Bhandari 等<sup>[13]</sup>提出缝线会导致术后不规则散光,延长手术时间及增加患者不适感,故仅用纤维蛋白胶粘合角膜基质透镜修补穿孔,与 Wu 等<sup>[8]</sup>研究对比,所需上皮化时间更短,术后矫正视力更佳,但不排除与选择病例感染程度轻、穿孔范围小有关。Abd Elaziz 等<sup>[14]</sup>也认为纤维蛋白胶粘合的角膜基质透镜不支持超过2mm的大穿孔。因此,该手术方式仅适合中央小穿孔或角膜缺损小的患者行临时治疗,穿孔范围较大时可能存在粘合不稳固或不均匀而影响术后视力。

对于角膜穿孔直径大、溃疡浸润的患者,纤维蛋白胶粘合后再缝合可避免术中因房水渗出导致各层基质透镜的分离。国内薛春燕等<sup>[10]</sup>用纤维蛋白胶将3~4片角膜基质透镜粘合成直径6.0~6.5mm,中央厚度300~400 $\mu\text{m}$ 的角膜基质板层材料用于5例角膜溃疡穿孔患者的紧急修补,预后良好。但该种手术存在局限性:(1)多层厚度不均的透镜叠合,板层纤维排列紊乱,在炎症反应明显的感染性角膜溃疡中呈血管瘢痕性愈合,透明度差,可治疗性修复,但中央部穿孔还需后期光学性角膜移植。(2)理论上角膜基质透镜经过叠合可用于直径 $<6.0\text{mm}$ 的角膜溃疡和穿孔修补,但透镜中央厚、周边薄,建议修复角膜缺损的直径尽量小于5.5mm。

**1.3 角膜基质透镜联合羊膜移植治疗角膜溃疡和穿孔** 羊膜中有大量生长因子和细胞因子,对治疗角膜感染和抑制新生血管化有效,且羊膜中所含的细胞因子可减轻真菌性角膜溃疡患者的眼痛症状<sup>[15-16]</sup>。国内,李世洋等<sup>[17]</sup>用角膜基质透镜联合羊膜移植治疗1例热烧伤所致的角膜溃疡。国外 Abd Elaziz 等<sup>[14]</sup>也认为单纯使用角膜基质透镜

修补角膜穿孔和溃疡效果差,但联合羊膜移植后可取得较好的临床效果,最大可对3.1mm $\times$ 3.4mm的角膜缺损进行修补。

真菌性角膜溃疡目前采用药物和手术治疗,治疗效果差,常出现角膜穿孔,需行眼球摘除术。刘娟<sup>[18]</sup>对药物治疗1mo无效的真菌性角膜溃疡14例采用角膜基质透镜联合羊膜移植术,辅抗真菌治疗,术后仅1例角膜基质透镜植片溶解行再次移植。术者认为病变达角膜1/2~2/3深度,直径不大于6mm,可行羊膜联合角膜基质透镜移植,若羊膜溶解时间短于1wk,往往提示手术失败的可能;若病变已侵及角膜后弹力层或已有严重内皮炎症,须选择穿透性角膜移植。

## 2 治疗远视

远视治疗是屈光手术难题,角膜基质透镜的植入为远视矫治提供了新选择。周跃华等<sup>[19]</sup>对1例1眼近视和1眼远视的患者行同期自体角膜基质透镜植入术,术后远视力明显提高,眼压和角膜生物力学等指标无明显改变。Sun 等<sup>[20]</sup>对5例自体角膜基质透镜移植随访1a,等效球镜度数未见明显回退。然而,大部分远视患者需行异体角膜基质透镜植入来矫正远视。国外 Pradhan 等<sup>[21]</sup>2013年报道第1例 SMILE 手术来源的异体角膜基质透镜植入矫正先天性白内障术后1200°远视,手术采用屈光度数为+10.50D,光学区5.75mm,厚度127 $\mu\text{m}$ 的基质透镜,随访1a,角膜植片透明,球镜度数减少5.25D,角膜中央厚度增加121 $\mu\text{m}$ 。但该手术只达到50%的预期矫正,研究者考虑可能是因为角膜后表面的改变和上皮重塑。而国内周跃华等<sup>[22]</sup>用 SMILE 手术制作囊袋,同期供体行 FLEX 术取出与受体眼远视度数匹配的角膜基质透镜移植取得良好的临床效果。张晶等<sup>[23]</sup>在此基础上对全飞秒角膜基质透镜植入术矫治中高度远视患者行1a随访,认为该手术方式安全、有效,预测性好。

上述手术均需供体受体同期移植,适用范围受局限。Ganesh 等<sup>[24]</sup>将 SMILE 术后冷冻保存平均约96d的透镜用于8个远视和1个无晶状体眼移植,表明低温储存不同时间的角膜基质透镜移植后在术后高阶像差、角膜内皮计数和术后眼表情况上并无统计学差异,是安全有效治疗远视的方法。该研究认为远视屈光预测性可达准确,而 Pradhan 等<sup>[21]</sup>术后屈光度数不稳定可能与制作囊袋的技术差异、基质透镜的直径大小有关。而且该作者提出术中用飞秒激光做的囊袋深度最好为160 $\mu\text{m}$ ,若屈光结果不稳定,可有足够厚度行手术补救。

角膜基质透镜为胶原纤维组织,植入囊袋后出现排斥和感染的概率小,无需缝合也不会破坏原角膜基质层神经纤维,减少并发症,具有可逆性。但要将其作为治疗远视的有效手段,如何提高屈光可预测性,同时矫正散光以达到正视是有待解决的问题。

## 3 治疗圆锥角膜

圆锥角膜是一种双侧性、进行性,伴角膜基质变薄、扩张、前凸和视力下降的病理改变。目前治疗方式有:角膜接触镜、角膜移植术、飞秒激光联合的穿透性角膜移植术/深板层角膜移植术(PK/DALK)、角膜基质内环植入术以及角膜胶原交联术<sup>[25]</sup>。

**3.1 联合角膜交联技术治疗圆锥角膜** 虽然目前治疗方

式多样,但并不能阻止病情进展,角膜胶原交联术 (corneal collagen cross-linking, CXL) 即使用紫外线照射联合核黄素治疗,是目前有效阻止圆锥角膜进展的方法<sup>[26]</sup>。但有研究认为行该手术角膜厚度必须大于400 $\mu\text{m}$ ,以防止核黄素和紫外线损伤角膜内皮细胞或晶状体,这限制了薄角膜的圆锥角膜治疗<sup>[27]</sup>。Sachdev等<sup>[28]</sup>将SMILE术获得的角膜基质透镜置于去上皮的宿主角膜上,使角膜基质厚度超过400 $\mu\text{m}$ 后行即可行CXL。然而,该手术虽然对阻止圆锥角膜进展有效,但单独使用该技术,视觉功能没有明显提高,还需其他屈光手术辅助<sup>[29]</sup>。Ganesh等<sup>[30]</sup>首次使用低温保存的SMILE来源的角膜基质透镜对圆锥角膜患者行角膜基质透镜移植并联合快速角膜胶原交联术,术后透镜位置稳定,角膜形状改善,裸眼和最佳矫正视力提高。目前技术仍处于起步阶段,尤其是联合快速角膜胶原交联术时,需更长的随访时间来评估该手术方式在角膜调节和维持、移植排斥反应等方面的问题。

**3.2 直接移植治疗圆锥角膜** Lazaridis等<sup>[31]</sup>用角膜基质透镜移植治疗1例LASIK术后远视和高散光,取得良好临床预后。Jadidi等<sup>[32]</sup>首次对使用SMILE术来源的角膜基质透镜依据圆锥角膜的类型直接移植后,对其角膜规则性、稳定性、屈光结果进行研究,术后随访1a视力可,未见并发症。但研究者认为圆锥角膜疾病是进行性的,尚不清楚这项技术能否有效控制疾病进展。若将该手术联合角膜交联术能否在阻止角膜扩张和改善预后有更好效果,还需进一步的临床试验、病例系列分析和长期随访。

#### 4 其他应用

目前老视治疗方式主要有角膜手术,如激光消融术、传导性角膜成形术、角膜镶嵌术、晶状体手术、巩膜手术等<sup>[33]</sup>。角膜镶嵌术近年来应用广泛,但现有镶嵌材料多数是合成材料,可能出现角膜内沉积、角膜混浊、上皮周围型混浊以及与视觉相关的并发症<sup>[34]</sup>。Jacob等<sup>[35]</sup>对4例老视患者行角膜基质透镜移植提高屈光力,随访6mo透镜位置良好,远近视力恢复可,患者满意度高,说明角膜基质透镜移植治疗老视是可行的。

翼状胬肉的手术方式包括翼状胬肉切除术、联合结膜移植术、联合羊膜移植术和板层角膜移植术,但复发性翼状胬肉仍是一个难题,手术可能导致角膜变薄和广泛瘢痕,使角膜穿孔而威胁视力。Pant等<sup>[36]</sup>首次报道使用SMILE术获得的角膜基质透镜联合羊膜治疗周边角膜厚度仅0.27mm的复发性翼状胬肉,随访8mo未见复发和排斥,角膜厚度也保持稳定。因此,对于多次手术的薄角膜和瘢痕化角膜,材料有限不能行板层角膜移植术时,角膜基质透镜可用于治疗复发性翼状胬肉。

角膜基质透镜作为补片,生物相容性佳,经济易获得。Song等<sup>[37]</sup>用角膜基质透镜覆盖1例由于粘连严重、无法行结膜瓣遮盖术的大泡性角膜病变患者,术后随访3mo,患者术眼稳定,症状减轻,植片未出现移位和溶解。与此同时,该研究还报道了1例用角膜基质透镜作为补片对青光眼植入阀术后暴露的引流阀进行覆盖。角膜植片覆盖对于降低引流阀暴露率和减小并发症具有良好的远期疗效<sup>[38]</sup>。但角膜植片供体有限,使用易获取的角膜基质透镜可取得同样的临床效果和预后,对于较大范围的修补,可联合羊膜移植。

角膜扩张是LASIK术后罕见但严重的并发症,术后角膜基质层变薄导致角膜生物力学强度的降低被认为与该疾病发生密切相关。Jiang等<sup>[39]</sup>首次报告将SMILE术获得的角膜基质透镜植入LASIK皮瓣与基质层间后恢复皮瓣,该研究表明角膜基质透镜直接移植治疗角膜扩张是一种安全有效的替代手术方法,尤其对于角膜厚度小于400 $\mu\text{m}$ 严重病例,必要时可使用多片透镜治疗。另外,该作者提出可以联合角膜交联术,提高角膜的生物力学强度,降低继续扩张的风险。

#### 5 总结

综上,SMILE手术来源的角膜基质透镜为治疗角膜溃疡和穿孔、远视、老视和圆锥角膜等眼科疾病提供了新思路 and 途径。但目前临床研究病例少、时间短,还存在一些问题需要探究:(1)如何规范化、流程化地长时间保存细胞结构与活力。国外Angunawela等<sup>[40]</sup>和Mohamed-Noriega等<sup>[41]</sup>认为冷冻储存的角膜基质透镜具有移植可行性。国内Liu等<sup>[42]</sup>认为角膜基质透镜至少在48h内,4 $^{\circ}\text{C}$ 或室温下贮藏是可行的。(2)SMILE手术来源的角膜基质透镜厚度由接受手术的患者屈光状态决定,这就限制了部分角膜基质透镜的利用,Damgaard等<sup>[43]</sup>对基质透镜行激光消融来重塑和定制,以实现个性化和高利用率的移植,未来研究可能会侧重于这一点,如使用角膜地形图引导精准植入,通过合适的轴位标记矫正散光达正视。(3)角膜基质透镜植入术后会出现角膜上皮重塑,导致屈光力改变,如何提高植入后的远期疗效,包括远期屈光力预测、角膜生物力学性能和生物相容性有待讨论。(4)异种角膜基质透镜移植的可能性。目前仅有动物实验表明,甘油脱水的异种基质透镜移植与宿主有良好生物相容性,具有可调节和可逆的潜力<sup>[44]</sup>。

#### 参考文献

- 1 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 Cataract Refract Surg* 2008;34(9):1513-1520
- 2 Sekundo W, Kunert KS, Blum M. Small incision corneal refractive surgery using the small incision lenticule extraction (SMILE) procedure for the correction of myopia and myopic astigmatism: results of a 6 month prospective study. *Br J Ophthalmol* 2011;95(3):335-339
- 3 Li M, Zhao J, Shen Y, et al. Comparison of dry eye and corneal sensitivity between small incision lenticule extraction and femtosecond LASIK for myopia. *PLoS One* 2013;8(10):e77797
- 4 Reinstein DZ, Archer TJ, Randleman JB. Mathematical model to compare the relative tensile strength of the cornea after PRK, LASIK, and small incision lenticule extraction. *J Refract Surg* 2013;29(7):454-460
- 5 胡裕坤,李文静,高晓唯,等.飞秒激光微小切口角膜基质透镜切除术治疗近视对角膜波前像差的影响. *眼科新进展* 2013;33(7):651-655
- 6 曾波,周雄,周和政.角膜移植治疗角膜及眼表疾病98例临床分析. *眼外伤职业眼病杂志* 2009;31(9):664-666
- 7 史伟云,谢立信.我国角膜病领域的学术发展方向. *中华眼科杂志* 2014;50(9):641-645
- 8 Wu F, Jin X, Xu Y, et al. Treatment of corneal perforation with lenticules from small incision lenticule extraction surgery: a preliminary study of 6 patients. *Cornea* 2015;34(6):658-663
- 9 Jiang Y, Li Y, Liu XW, et al. A Novel Tectonic Keratoplasty with Femtosecond Laser Intrastromal Lenticule for Corneal Ulcer and Perforation. *Chin Med J (Engl)* 2016;129(15):1817-1821

- 10 薛春燕,夏元,陈月芹,等. 多层角膜基质透镜重叠治疗角膜溃疡穿孔. *中华眼科杂志* 2015;51(9):655-659
- 11 高颖,张俐娜,杨咏,等. 角膜基质透镜用于周边板层角膜移植术的临床效果. *中华眼外伤职业眼病杂志* 2017;39(10):725-728
- 12 郝晓凤,谢立科,张京,等. 角膜基质透镜在角膜溃疡或穿孔修复中的应用. *国际眼科杂志* 2018;18(1):150-152
- 13 Bhandari V, Ganesh S, Brar S, *et al.* Application of the SMILE-Derived Glued Lenticule Patch Graft in Microperforations and Partial-Thickness Corneal Defects. *Cornea* 2016;35(3):408-412
- 14 Abd Elaziz MS, Zaky AG, El Saebay Sarhan AR. Stromal lenticule transplantation for management of corneal perforations; one year results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2017;255(6):1179-1184
- 15 Ansari Z, Miller D, Galor A. Current Thoughts in Fungal Keratitis: Diagnosis and Treatment. *Curr Fungal Infect Rep* 2013;7(3):209-218
- 16 Thomassen H, Pauklin M, Steuhl KP, *et al.* Comparison of cryopreserved and air-dried human amniotic membrane for ophthalmologic applications. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2009;247(12):1691-1700
- 17 李世洋,肖建和,刘雪艳,等. 角膜基质透镜植入联合羊膜移植治疗角膜溃疡. *实用医药杂志* 2015;4:334-335
- 18 刘娴. 角膜基质透镜联合羊膜移植术治疗真菌性角膜溃疡. *中华眼外伤职业眼病杂志* 2017;39(6):413-415
- 19 周跃华,张晶,李颖,等. 自体角膜基质透镜植入术矫治远视的临床应用. *中华实验眼科杂志* 2013;31(2):156-159
- 20 Sun L, Yao P, Li M, *et al.* The Safety and Predictability of Implanting Autologous Lenticule Obtained by SMILE for Hyperopia. *J Refract Surg* 2015;31(6):374-379
- 21 Pradhan KR, Reinstein DZ, Carp GI, *et al.* Femtosecond laser-assisted keyhole endokeratophakia: correction of hyperopia by implantation of an allogeneic lenticule obtained by SMILE from a myopic donor. *J Refract Surg* 2013;29(11):777-782
- 22 周跃华,张晶,郑燕,等. 同种异体角膜基质透镜植入术矫治远视的早期临床疗效. *中华眼科杂志* 2015;51(9):683-688
- 23 张晶,翟长斌,郑燕,等. 全飞秒激光角膜基质透镜植入术矫治中高度远视的一年随访研究. *中华实验眼科杂志* 2018;36(5):355-359
- 24 Ganesh S, Brar S, Rao PA. Cryopreservation of extracted corneal lenticules after small incision lenticule extraction for potential use in human subjects. *Cornea* 2014;33(12):1355-1362
- 25 侯思梦,周跃华. 圆锥角膜的治疗方法. *国际眼科纵览* 2017;41(4):259-265
- 26 陈甜,吴昌凡,殷义平. 角膜胶原交联治疗进展期圆锥角膜. *实用防盲技术* 2016;11(2):89-92
- 27 Wollensak G, Sporn E, Reber F, *et al.* Corneal endothelial cytotoxicity of riboflavin/UVA treatment *in vitro*. *Ophthalmic Res* 2003;35(6):324-328
- 28 Sachdev MS, Gupta D, Sachdev G, *et al.* Tailored stromal expansion with a refractive lenticule for crosslinking the ultrathin cornea. *J Cataract Refract Surg* 2015;41(5):918-923
- 29 Raiskup-Wolf F, Hoyer A, Spoerl E, *et al.* Collagen crosslinking with riboflavin and ultraviolet-A light in keratoconus; long-term results. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(5):796-801
- 30 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. *Cornea* 2015;34(10):1331-1339
- 31 Lazaridis A, Reinstein DZ, Archer TJ, *et al.* Refractive Lenticule Transplantation for Correction of Iatrogenic Hyperopia and High Astigmatism After LASIK. *J Refract Surg* 2016;32(11):780-786
- 32 Jadidi K, Mosavi SA. Keratoconus treatment using femtosecond-assisted intrastromal corneal graft (FAISCG) surgery; a case series. *Int Med Case Rep J* 2018;11:9-15
- 33 Waring GO 4th, Klyce SD. Corneal inlays for the treatment of presbyopia. *Int Ophthalmol Clin* 2011;51(2):51-62
- 34 Pinsky PM. Three-Dimensional Modeling of Metabolic Species Transport in the Cornea With a Hydrogel Intrastromal Inlay. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014;55(5):3093-3106
- 35 Jacob S, Kumar DA, Agarwal A, *et al.* Preliminary Evidence of Successful Near Vision Enhancement With a New Technique: PrEsbyopic Allogenic Refractive Lenticule (PEARL) Corneal Inlay Using a SMILE Lenticule. *J Refract Surg* 2017;33(4):224-229
- 36 Pant OP, Hao JL, Zhou DD, *et al.* A novel case using femtosecond laser-acquired lenticule for recurrent pterygium; case report and literature review. *J Int Med Res* 2018;46(6):2474-2480
- 37 Song YJ, Kim S, Yoon GJ. Case series: Use of stromal lenticule as patch graft. *Am J Ophthalmol Case Rep* 2018;12:79-82
- 38 Spierer O, Waisbourd M, Golan Y, *et al.* Partial thickness corneal tissue as a patch graft material for prevention of glaucoma drainage device exposure. *BMC Ophthalmol* 2016;16:20
- 39 Jiang Y, Li Y, Yang S, *et al.* Tuck-in Lamellar keratoplasty with an lenticule obtained by small incision lenticule extraction for treatment of Post-LASIK Ectasia. *Sci Rep* 2017;7:17806
- 40 Angunawela RI, Riau AK, Chaurasia SS, *et al.* Refractive lenticule re-implantation after myopic ReLEx: a feasibility study of stromal restoration after refractive surgery in a rabbit model. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53(8):4975-4985
- 41 Mohamed-Noriega K, Toh KP, Poh R, *et al.* Cornea lenticule viability and structural integrity after refractive lenticule extraction (ReLEx) and cryopreservation. *Mol Vis* 2011;17:3437-3449
- 42 Liu YC, Williams GP, George BL, *et al.* Corneal lenticule storage before reimplantation. *Mol Vis* 2017;23:753-764
- 43 Damgaard IB, Riau AK, Liu YC, *et al.* Reshaping and Customization of SMILE-Derived Biological Lenticules for Intrastromal Implantation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2018;59(6):2555-2563
- 44 Jin H, Liu L, Ding H, *et al.* Comparison of femtosecond laser-assisted corneal intrastromal xenotransplantation and the allotransplantation in rhesus monkeys. *BMC Ophthalmol* 2017;17:202