

圆锥角膜屈光重建

张静, 侯杰, 董亚慧, 雷玉琳

引用: 张静, 侯杰, 董亚慧, 等. 圆锥角膜屈光重建. 国际眼科杂志, 2024, 24(8): 1250-1253.

作者单位: (250200) 中国山东省济南市, 济南明水眼科医院角膜屈光科

作者简介: 张静, 硕士, 主治医师, 研究方向: 角膜屈光手术、圆锥角膜诊疗、近视防控。

通讯作者: 雷玉琳, 博士, 主任医师, 副院长, 研究方向: 角膜屈光手术、圆锥角膜诊疗、近视防控. lei.yulin642@126.com

收稿日期: 2023-11-17 修回日期: 2024-06-19

摘要

圆锥角膜是一种进行性、严重影响青少年视力的疾病。圆锥角膜常造成高度近视、不规则散光, 部分患者晚期角膜出现明显瘢痕, 视力明显下降。在圆锥角膜的诊疗过程中, 圆锥角膜屈光重建是临床关注的重点。经过多年的研究与探索, 多种治疗方法在不同病程阶段中(非进展期、进展期、晚期)为圆锥角膜患者进行屈光重建, 使其获得良好的视功能。文章主要针对不同时期圆锥角膜屈光重建的方案进行综述, 分析国内外各治疗方案的利弊, 总结不同治疗方式的特点, 以期圆锥角膜诊疗工作提供理论参考及新的治疗思路。

关键词: 圆锥角膜; 屈光重建; 硬性透气性角膜接触镜(RGPCL); 有晶状体眼后房型人工晶状体植入术(TICL/ICL)

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2024.8.13

Refractive reconstruction of keratoconus

Zhang Jing, Hou Jie, Dong Yahui, Lei Yulin

Department of Corneal Refractive, Jinan Mingshui Eye Hospital, Jinan 250200, Shandong Province, China

Correspondence to: Lei Yulin. Department of Corneal Refractive, Jinan Mingshui Eye Hospital, Jinan 250200, Shandong Province, China. lei.yulin642@126.com

Received: 2023-11-17 Accepted: 2024-06-19

Abstract

• Keratoconus is a progressive disease that seriously affects the eyesight of young people. Keratoconus often causes high myopia, irregular astigmatism, and some patients with advanced corneal scar, visual acuity significantly decreased. In the course of diagnosis and treatment of keratoconus, refractive reconstruction of keratoconus is the focus of clinical attention. After years of research and exploration, a variety of treatment methods in different stages of disease (non-progressive, progressive, advanced) for keratoconus patients

refractive reconstruction, so that they can obtain good visual function. This paper mainly reviews the refractive reconstruction schemes of keratoconus in different periods, analyzes the advantages and disadvantages of various treatment schemes at home and abroad, and summarizes the characteristics of different treatment methods, with a view to providing theoretical reference and new treatment ideas for the diagnosis and treatment of keratoconus.

• **KEYWORDS:** keratoconus; refraction reconstruction; rigid gas permeable contact lens (RGPCL); implantable collamer lens (TICL/ICL)

Citation: Zhang J, Hou J, Dong YH, et al. Refractive reconstruction of keratoconus. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2024, 24(8): 1250-1253.

0 引言

圆锥角膜(keratoconus, KC)是一种进行性角膜基质变薄的非炎症性疾病^[1]。该病好发于青少年, 伴有高度近视、不规则散光和视力严重下降^[2]。目前圆锥角膜病因尚不明确, 也无根治方法, 治疗方向着重于控制圆锥角膜发展^[3-4], 手术本身对于视力提高作用有限, 术后高度屈光不正仍然对青少年的视功能、生活、工作有重大影响。目前多种治疗方法在圆锥角膜不同病程中为圆锥角膜患者进行屈光重建, 根据患者的病史及眼科检查如视力、角膜曲率、后表面高度等的变化情况将圆锥角膜分为非进展期、进展期、晚期三个阶段, 此文主要针对三个不同阶段圆锥角膜屈光重建的方案进行综述。

1 非进展期圆锥角膜的屈光重建

1.1 框架眼镜 框架眼镜是最简单便捷的矫正屈光度的方法, 也是绝大多数人的选择。但其矫正屈光度有一定限制, 《中国圆锥角膜诊断和治疗专家共识(2019年)》^[5]中指出, 框架眼镜适用于非进展期或进展期初期圆锥角膜且矫正视力满意者。若程度较重或矫正视力差者, 框架眼镜或许不是最佳选择。

1.2 角膜接触镜 硬性透气性角膜接触镜(rigid gas permeable contact lens, RGPCL)是角膜接触镜两大类型之一, 在材料、设计和验配方面均具有独特的性质。凭借着优质的光学性能, RGPCL在高度近视、高度散光及不规则散光方面均有着较好的效果。众多报告证实了RGPCL在屈光矫正的有效性和安全性^[6-7], 在圆锥角膜的屈光矫正和重建方面也已有了较多研究和成果, 目前是圆锥角膜患者常采用的矫正方式之一。Kazanci等^[8]对圆锥角膜患者133例229眼(轻度圆锥角膜患者占比38.4%, 中度圆锥角膜患者占比59.4%, 重度圆锥角膜占比2.2%)配戴RGPCL后的治疗效果进行研究并与框架眼镜效果进行对比, 结果显示所有患者配戴RGPCL裸眼视力与矫正视力均有提

高,且提高幅度较框架眼镜组高,不同程度圆锥角膜佩戴效果之间差异无统计学意义,证明了 RGPCL 对于不同程度的圆锥角膜患者屈光矫正均有效果,但仍需要密切随访病情进展,若有进展仍需进一步治疗。早期圆锥角膜可应用 RGPCL 矫正,但需持续随访。温莹等^[9]研究中 RGPCL 对降低角膜曲率效果并不明显,认为 RGPCL 阻止圆锥角膜效果并不显著,与既往部分研究认为 RGPCL 不能控制圆锥角膜发展的结果一致^[10]。故若病情进展较快,仍需采取进一步治疗。但对于不耐受 RGPCL、角膜接触镜感染病史及 RGPCL 矫正视力不佳者 RGPCL 不是好的选择^[5],另外对于部分晚期圆锥角膜患者,角膜明显前突者也并不适用。

1.3 巩膜镜 巩膜镜是硬性透气性接触镜之一。与常规 RGPCL 相比,其直径较大,可覆盖角膜及角巩膜缘,着落在巩膜^[11]。镜片与角膜表面及角巩膜缘不直接贴合,与角膜前表面之间形成一个液态穹窿,可以保护角膜组织,矫正角膜不规则散光^[12]。巩膜镜具有适应范围广、稳定性好及配戴舒适等优点,目前已将其应用于不规则散光、圆锥角膜等矫正。Cagliari 等^[13]对 22 例圆锥角膜患者配戴巩膜镜后效果进行观察,随访 90 d,无不适应反应,视力得到有效提高,角膜形态稳定,无角膜内皮减少,证明了巩膜镜在圆锥角膜矫治中的安全性及有效性。齐艳等^[14]对 18 例 26 眼因 RGPCL 不耐受的圆锥角膜患者验配巩膜镜,观察到所有圆锥角膜患者验配后 BCVA 明显改善,患者舒适感好且镜片定位良好,证明了圆锥角膜配戴巩膜镜舒适度良好,可提升矫正视力。目前多项研究证明巩膜镜是圆锥角膜患者一种有效的屈光重建方式,但长期的安全性需要进一步观察研究。

1.4 有晶状体眼人工晶状体植入术 对于非进展期屈光度相对较高的圆锥角膜患者,有晶状体眼后房型人工晶状体植入术(TICL/ICL)不受角膜厚度的影响,矫正范围广,对角膜生物力学影响较小,是一种可行且有效的选择。2015 年,Kamiya 等^[15]对 21 例圆锥角膜患者行 ICL 植入术后进行研究观察,该部分患者平均散光度数为 3.21 ± 1.56 D,术后视力提升明显,散光有效矫正,随访 3 a 后,屈光度与目标屈光度差值在 0.5 D 和 1.0 D 以内的比例分别为 67%和 86%,证明了 ICL/TICL 对于圆锥角膜患者散光矫正的长期稳定性及有效性。Li 等^[16]及 Balparada 等^[17]在研究中均对非进展期圆锥角膜患者进行了 ICL 及 TICL 的植入手术,术后均观察到视力及屈光度得到明显改善,且角膜形态稳定,无明显变化,均证实了 ICL 及 TICL 对于非进展期圆锥角膜的屈光重建是一种安全有效的方法。但 ICL 及 TICL 对于不规则散光矫正效果有效,对于晚期角膜极不规则及瘢痕期患者不适用。

2 进展期圆锥角膜的屈光重建

2.1 角膜胶原交联手术控制圆锥角膜进展 角膜胶原交联手术(corneal collagen crosslinking, CXL)是目前常用的控制圆锥角膜发展的方法之一^[18],由 Wollensak 等^[19]在 2003 年首次提出并逐渐应用于临床。该手术方式原理为特定波长的紫外线与核黄素的化学作用使角膜硬度增强,起到延缓圆锥角膜发展的作用^[20]。但此手术提高视力作用有效,单纯 CXL 治疗后仍然面临着角膜规则性差、视力及视觉质量难以提升的问题,所以,目前众多研究致力于 CXL 术中及术后相关的屈光重建。

2.2 CXL 术后联合 RGPCL 验配 RGPCL 不能控制圆锥

角膜发展,目前众多研究中往往将 RGPCL 应用于 CXL 术后以提高患者视力。Singh 等^[21]对患者 14 例 20 眼行 CXL 术后进行 RGPCL 验配,随访 6 mo,UCVA 和 BCVA 均改善,平均角膜曲率下降,角膜形态稳定,证明了 CXL 术后进行 RGPCL 验配是圆锥角膜患者屈光重建的有效方式。叶照达团队^[22]对进展期圆锥角膜行跨上皮 CXL 联合术后配戴 RGPCL 的 16 例 25 眼患者进行回顾性分析,结果显示 CXL 术后配戴 RGPCL 的 BCVA 较术前明显改善,角膜曲率降低,角膜规则性增加,并且对于研究患者的角膜内皮细胞计数与术前进行了比较,差异无统计学意义,证明了跨上皮快速 CXL 联合 RGPCL 治疗圆锥角膜能有效且安全控制圆锥角膜进展,长期效果稳定。马小倩^[23]对 CXL 术后配戴 RGPCL 的患者进行了观察,结果显示患者验配 RGPCL 后视力提高明显,平均等效球镜度降低,角膜曲率降低,形态稳定。证实了 CXL 手术可控制病情发展,同时通过验配 RGPCL 可显著改善视力。CXL 术后验配 RGPCL 需要根据患者角膜恢复情况及稳定性决定,CXL 术后过早验配 RGPCL 可能会引起感染、炎症加重、屈光度欠准确等,故建议 CXL 术后 3 mo 后再行验配,此时验配可以获得较好的矫正视力^[24]。

2.3 准分子激光联合 CXL 在圆锥角膜屈光重建中的应用

应用准分子激光联合 CXL 既可以达到控制圆锥角膜发展,又可以起到视力改善的作用,达到屈光重建的目的。众多研究证实了准分子激光 I 期联合 CXL 术后患者视力得到提高。王君喆等^[25]对于角膜屈光术后继发圆锥角膜的患者采用准分子激光治疗性角膜切削术(phototherapeutic keratectomy, PTK)联合准分子激光屈光性角膜切削术(photorefractive keratectomy, PRK)进行去除上皮+屈光矫正,然后行 CXL 来治疗。研究结果表明,所有患者术后 UCVA 较术前明显提高,角膜曲率变平至稳定,角膜厚度较术前变薄,3-6 mo 后角膜厚度稳定,角膜内皮数较术前无明显减少,表明了 PTK、PRK 联合 CXL 可以有效提高患者的视力并延缓角膜后扩张的发展,可以更好地提升患者的视功能。Kymionis 等^[26]通过 PRK 联合 CXL 治疗圆锥角膜早期,随访 2 a 以上,视力提高,角膜曲率稳定,证明了手术的有效性及其安全性。王丽纯等^[27]对接受手术治疗的 KC1-KC3 级早期圆锥角膜患者进行角膜地形图引导的个性化准分子激光角膜上皮瓣下磨镶术(laser-assisted subepithelial keratomileusis, LASEK)联合 CXL,术后随访 12 mo 以上,所有患眼最佳矫正视力较术前无降低,提高 1 行、提高 2 行、提高 3 行或以上者分别为 33 眼(15%)、33 眼(15%)、10 眼(50%)。研究同时观察到圆锥角膜患者术后角膜规则性增加,光学质量的各项指数改善。证明了角膜地形图引导个性化 LASEK 联合 CXL 可提高患者视力,对于早期圆锥角膜的治疗安全有效,可控制圆锥角膜发展,并对角膜的规则性有显著改善。

2.4 CXL 联合有晶状体眼人工晶状体植入术进行屈光重建 ICL/TICL 因其较好的矫正效果,常应用于 CXL 术后屈光度及角膜形态稳定的圆锥角膜患者。Shafik Shaheen 等^[28]对 16 例圆锥角膜患者在 CXL 术后进行了 TICL 的植入,随访 3 a,CDVA 由术前的 0.56 ± 0.13 提高到 0.89 ± 0.17 ,平均 UDVA 从术前的 0.63 ± 0.14 显著提高至 0.88 ± 0.18 ,术后晶状体位置稳定,无并发症发生,证明了手术的有效性及其安全性。Sakla 等^[29]观察 31 例 46 眼圆锥角膜患者行 T-PRK+CXL 术后行 TICL 植入术的效果,随访 1 a,

63%的眼睛 UDVA 达到 20/32 或更好,散光由术前的 -2.90 ± 2.21 D 改善至 -1.47 ± 1.46 D,术后散光误差在 ± 0.50 D 和 ± 1.00 D 内的分别占 30.4% 和 45.7%,证明了 CXL 术后角膜形态稳定的圆锥角膜患者行 TICL 植入术的有效性及安全性。

2.5 透镜植入术联合 CXL 手术 角膜基质透镜植入是应用飞秒激光微小切口基质透镜取出术 (small incision lenticule extraction, SMILE) 手术中取出的角膜组织,植入于圆锥角膜患者角膜基质囊袋中,以达到增加角膜厚度的目的,尤其适用于角膜厚度偏薄的患者,同时联合 CXL 可起到控制圆锥发展的目的^[30]。但手术增加厚度的同时,增加了角膜中央的曲率,部分患者视力出现下降^[31],故部分研究进行了手术方案的改良以同时实现屈光重建的目的。Jadidi 等^[32]首次对使用 SMILE 来源的角膜基质透镜应用于圆锥角膜的治疗,术后随访 1 a,视力提高,角膜形态稳定,无并发症发生。Doroodgar 等^[33]将 SMILE 手术中取得的角膜基质透镜定制成环形项链状,再将其植入于 22 例晚期圆锥角膜患者,所有患者术后角膜厚度增加,术后 CDVA 改善,角膜曲率降低,证明了飞秒激光辅助的定制 SMILE 基质透镜植入术是可行的,且视力、角膜曲率均有改善,起到屈光重建的作用。Ganesh 等^[34]采用飞秒激光辅助角膜基质透镜植入联合快速 CXL,术后所有患者均未出现排斥反应,裸眼远视力、矫正远视力和等效球镜度均得到改善,角膜厚度增加,角膜曲率下降,只有 1 眼角膜曲率未下降,考虑可能其处于圆锥角膜晚期。角膜基质透镜植入联合 CXL 手术为圆锥角膜治疗提供了新的治疗思路,但目前研究病例相对较少,时间相对较短,术后长期的有效性及安全性需进一步研究和观察。

3 晚期圆锥角膜的屈光重建

3.1 角膜移植 对于晚期圆锥角膜患者,角膜移植术是一种相对理想的屈光重建方案。该角膜移植属于屈光性移植,目前常采用的方案有部分前板层角膜移植术 (anterior lamellar keratoplasty, ALK)、前弹力层移植 (bowman layer transplanation, BLT)、飞秒激光辅助的大气泡法深板层角膜移植术 (deep anterior lamellar keratoplasty, DALK)、穿透性角膜移植术 (penetrating keratoplasty, PK) 等^[5]。张霞等^[35]观察 DALK 治疗圆锥角膜,随访 1 a,术眼角膜植片均透明,生理厚度恢复,术后裸眼视力、最佳矫正视力均高于术前,角膜曲率、角膜散光均较术前显著降低,证明了 DALK 治疗安全性高,能有效提高视力,是中晚期患者较佳的术式选择。王振茂等^[36]通过对 DALK (去除 75% 以上的角膜基质层) 和飞秒激光联合大气泡技术 (去除全部基质层,只保留后弹力层和内皮层) 的全板层角膜移植治疗中晚期圆锥角膜的远期临床效果进行对比,随访 4 a,证明了两种手术方式在术后最佳矫正视力、角膜散光、角膜曲率、中央角膜厚度及内皮细胞丢失率等方面无显著差异,但飞秒激光联合大气泡技术全板层角膜移植术后残留近视度数更低,具有良好的临床效果及安全性。Tourkmani 等^[37]对 5 例晚期圆锥角膜患者采用前弹力层移植的方案治疗晚期圆锥角膜,随访 1 a,观察到角膜曲率变平、角膜散光降低,中心和中心旁区变化更明显,最佳矫正视力均得到改善,证明了前弹力层移植是一种矫治圆锥角膜的有效策略。目前研究中均指出角膜移植术后仍需长期随诊及用药,对于术后遗留的屈光不正,可以采取 RGPCl、角膜屈光手术等进一步矫正。

3.2 角膜移植术后屈光重建 对于角膜移植后残留的屈光不正,可以采用 RGPCl、个性化准分子激光切削等^[38-39]来矫正,随着技术发展,更多新的技术也逐渐开始应用于角膜移植后屈光重建。Mastropasqua 等^[40]报道了 1 例圆锥角膜患者,接受 DALK 治疗后不耐受遗留的近视散光,戴镜不适,遂实施 SMILE 手术,手术光学区设置为 5.20 mm,切口设置为 3.25 mm,顺利在植片上取出基质透镜。术后随访 3 mo,矫正视力由 20/100 提高至 20/40,自觉视力改善明显。本报告强调了 SMILE 作为角膜移植术后屈光重建的可行性,但需要进一步的前瞻性研究来证明该技术的长期屈光效果和安全性。

4 小结

圆锥角膜患者屈光重建对于患者生活、学习、工作均有重大意义,治疗时机及方法的选择对于圆锥角膜患者预后影响很大,框架眼镜、RGPCl 可适用于各个时期患者,但矫正作用有限,非进展期圆锥角膜患者可联合准分子激光、个性化切削、角膜基质透镜植入、ICL/TICL 植入术等方案对视力提升有明显作用,晚期圆锥角膜患者可选择角膜移植及移植后屈光重建等方案。当然,最重要的是加强对圆锥角膜相关知识的普及,使患者得到早期诊断和治疗,这对圆锥角膜患者的远期屈光重建至关重要。

参考文献

- [1] D'Oria F, Abdelghany AA, Ledo N, et al. Incidence and reasons for intrastromal corneal ring segment explantation. *Am J Ophthalmol*, 2021, 222:351-358.
- [2] Godefrooij DA, de Wit GA, Uiterwaal CS, et al. Age-specific incidence and prevalence of keratoconus: a nationwide registration study. *Am J Ophthalmol*, 2017, 175:169-172.
- [3] Shen Y, Xian Y, Han T, et al. Bilateral Differential Topography-A Novel Topographic Algorithm for Keratoconus and Ectatic Disease Screening. *Front Bioeng Biotechnol*, 2021, 9:772982.
- [4] Greenstein SA, Hersh PS. Corneal crosslinking for progressive keratoconus and corneal ectasia: summary of US multicenter and subgroup clinical trials. *Transl Vis Sci Technol*, 2021, 10(5):13.
- [5] 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). *中华眼科杂志*, 2019, 55(12):891-895.
- [6] Taşçı YY, Saraç Ö, Çağıl N, et al. Comparison of hybrid contact lenses and rigid gas-permeable contact lenses in moderate and advanced keratoconus. *Turk J Ophthalmol*, 2023, 53(3):142-148.
- [7] Kasıkcı M, Karalezli A, Eroğul Ö, et al. Quantifying contact lens-related changes in keratoconus corneal topographic indices: an updated Pentacam Scheimpflug imaging analysis. *Rom J Ophthalmol*, 2022, 66(3):245-256.
- [8] Kazancı B, Ozek D, Anayol A, et al. Applications of different types of gas-permeable contact lenses in keratoconus and their visual results. *Eur J Ophthalmol*, 2014, 24(6):835-841.
- [9] 温莹, 吴欣怡, 季鹏, 等. 硬性透气性角膜接触镜矫正圆锥角膜的视觉质量分析. *山东大学学报(医学版)*, 2010, 48(9):76-78, 81.
- [10] Marta A, Marques JH, Almeida D, et al. Keratoconus and visual performance with different contact lenses. *Clin Ophthalmol*, 2021, 15:4697-4705.
- [11] Rathi VM, Mandathara PS, Dumpati S. Contact lens in keratoconus. *Indian J Ophthalmol*, 2013, 61(8):410-415.
- [12] Şengör T, Aydın Kurna S. Update on contact lens treatment of keratoconus. *Tjo*, 2020, 50(4):234-244.
- [13] Cagliari C, Schor P, Formentin L, et al. Corneal response to scleral contact lens wear in keratoconus. *Eye Contact Lens*, 2022, 48(8):322-327.
- [14] 齐艳, 胡艳, 徐珊珊, 等. 巩膜镜矫正圆锥角膜的临床效果观

察. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2022,24(5):364-369.

[15] Kamiya K, Shimizu K, Kobashi H, et al. Three-year follow-up of posterior chamber toric phakic intraocular lens implantation for the correction of high myopic astigmatism in eyes with keratoconus. *Br J Ophthalmol*, 2015,99(2):177-183.

[16] Li K, Wang Z, Zhang D, et al. Visual outcomes and corneal biomechanics after V4c implantable collamer lens implantation in subclinical keratoconus. *J Cataract Refract Surg*, 2020, 46(10):1339-1345.

[17] Balparda K, Vanegas-Ramírez CM, Herrera-Chalarca T, et al. Early results with the EyeCryl Phakic Toric intraocular lens implantation in keratoconus patients. *Rom J Ophthalmol*, 2021,65(2):163-170.

[18] Agarwal R, Jain P, Arora R. Complications of corneal collagen cross-linking. *Indian J Ophthalmol*, 2022,70(5):1466-1474.

[19] Wollensak G, Spoerl E, Wilsch M, et al. Endothelial cell damage after riboflavin-ultraviolet-a treatment in the rabbit. *J Cataract Refract Surg*, 2003,29(9):1786-1790.

[20] Lenk J, Herber R, Raiskup F, et al. Principles of corneal cross-linking: Presentation based on the development of the various treatment protocols. *Ophthalmologe*, 2022,119(4):332-341.

[21] Singh K, Bhattacharyya M, Arora R, et al. Alterations in contact lens fitting parameters following cross-linking in keratoconus patients of Indian ethnicity. *Int Ophthalmol*, 2018,38(4):1521-1530.

[22] 叶照达, 胡艳红, 陈子扬. 跨上皮快速交联术联合术后配戴 RGPCL 治疗圆锥角膜的疗效. *国际眼科杂志*, 2021, 21(7):1257-1260.

[23] 马小倩. 核黄素-紫外光 A 快速角膜胶原交联术治疗进展性圆锥角膜的临床研究. 郑州大学, 2016.

[24] Lim L, Lim EWL. Current perspectives in the management of keratoconus with contact lenses. *Eye (Lond)*, 2020, 34(12):2175-2196.

[25] 王君喆, 徐琳琳, 朱伟, 等. PTK、PRK 和 CXL 联合治疗 LASIK 术后角膜膨隆的临床疗效. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2017,19(1):20-24.

[26] Kymionis GD, Grentzelos MA, Voulgari N. Stromal scarring and visual acuity loss after combined PRK and CXL for keratoconus. *J Refract Surg*, 2019,35(6):399.

[27] 王丽纯, 陈跃国, 张钰, 等. 角膜地形图引导 LASEK 联合快速角膜交联治疗早期圆锥角膜的临床研究. *中华眼科杂志*, 2019,55(12):904-910.

[28] Shafik Shaheen M, El-Kateb M, El-Samadouny MA, et al. Evaluation of a toric implantable collamer lens after corneal collagen crosslinking in treatment of early-stage keratoconus. *Cornea*, 2014,33(5):475-480.

[29] Sakla HF, Altroudi W, Sakla YFR, et al. Visual and refractive outcomes of toric implantable collamer lens implantation in stable keratoconus after combined topography-guided PRK and CXL. *J Refract Surg*, 2021,37(12):824-829.

[30] Piñero DP, Alio JL. Intracorneal ring segments in ectatic corneal disease - a review. *Clin Exp Ophthalmol*, 2010,38(2):154-167.

[31] 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.

[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] Doroodgar F, Jabbarvand M, Niazi S, et al. Customized stromal lenticule implantation for keratoconus. *J Refract Surg*, 2020,36(12):786-794.

[34] 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.

[35] 张霞, 袁牧之, 刘曼丽, 等. 飞秒激光辅助的大气泡法深板层角膜移植术治疗圆锥角膜后视觉质量. *眼科新进展*, 2017,37(11):1071-1074.

[36] 王振茂, 肖凯霖, 葛轶睿, 等. 飞秒激光辅助的深板层角膜移植与大气泡全板层角膜移植治疗圆锥角膜的远期疗效比较. *临床眼科杂志*, 2019,27(2):97-100.

[37] Tourkmani AK, Mohammad T, McCance E, et al. One-Year Front Versus Central and Paracentral Corneal Changes After Bowman Layer Transplantation for Keratoconus. *Cornea*, 2022,41(2):165-170.

[38] Ling JJ, Mian SI, Stein JD, et al. Impact of scleral contact lens use on the rate of corneal transplantation for keratoconus. *Cornea*, 2021, 40(1):39-42.

[39] Deshmukh R, Nair S, Vaddavalli PK, et al. Post-penetrating keratoplasty astigmatism. *Surv Ophthalmol*, 2022,67(4):1200-1228.

[40] Mastropasqua L, Calienno R, Lanzini M, et al. Small Incision Lenticule Extraction After Deep Anterior Lamellar Keratoplasty. *J Refract Surg*, 2015,31(9):634-637.