

白内障手术中矫正低度数角膜散光的研究进展

邓雅婷¹, 王佳欣¹, 赵平^{1,2*}

¹暨南大学附属爱尔眼科医院, 广东 广州

²辽宁爱尔眼科医院青光眼科, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2024年3月19日; 录用日期: 2024年4月13日; 发布日期: 2024年4月19日

摘要

低度数的未矫正角膜散光是影响白内障患者术后屈光状态和视觉质量的重要因素之一, >0.75 D的散光便会引起视物模糊、重影、眩光等症状。随着白内障屈光手术领域的不断发展, 针对白内障患者低度数角膜散光的矫正已经有多种手术技术可供选择。本文就目前白内障术中矫正低度数角膜散光的常见术式作一综述, 以期帮助临床医生更好地为患者选择合适的散光矫正方法提供参考。

关键词

白内障, 散光矫正, 低度数角膜散光

Research Progress in the Correction of Low Corneal Astigmatism during Cataract Surgery

Yating Deng¹, Jiaxin Wang¹, Ping Zhao^{1,2*}

¹Aier Eye Hospital Affiliated to Jinan University, Guangzhou Guangdong

²Department of Glaucoma, Liaoning Aier Eye Hospital, Shenyang Liaoning

Received: Mar. 19th, 2024; accepted: Apr. 13th, 2024; published: Apr. 19th, 2024

Abstract

Uncorrected low corneal astigmatism is one of the important factors affecting the refractive outcomes and visual quality of cataract patients postoperatively. Astigmatism > 0.75 D can lead to symptoms such as blurred vision, double vision, and glare. With the continuous development in

*通讯作者。

the field of cataract refractive surgery, there are multiple surgical techniques available for correcting low-degree corneal astigmatism in cataract patients. This article provides a comprehensive review of common surgical procedures for correcting low corneal astigmatism in cataract surgery, aiming to provide guidance to clinicians in selecting appropriate astigmatism correction methods for patients.

Keywords

Cataract, Astigmatism Correction, Low Corneal Astigmatism

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

人眼散光是由于眼球在不同子午线上屈光力不等, 平行光线经过该眼球屈光系统后无法汇聚成一个焦点, 进而无法形成清晰物像的一种屈光状态。人眼屈光系统的散光主要源自角膜和晶状体, 白内障术后, 晶体散光得以去除, 而人工晶体本身的像差相对较小, 因此有效地处理角膜散光将在提高患者术后成像质量和视觉体验方面发挥关键作用。白内障人群中普遍存在不同程度的角膜散光, 临床上超过 30% 的老年性白内障患者合并 0.75 D 至 1.50 D 的低度数角膜散光[1]。随着技术不断发展, 白内障手术已经进入了屈光手术时代, 存在未矫正的低度数角膜散光也会对视觉效果产生影响。针对合并低度数角膜散光的白内障群体, 目前有多种手术方式可用于矫正散光, 每种方法都有其优劣之处。本文将就目前临床上用于矫正白内障患者低度数角膜散光的方法进行综述。

2. 低度数角膜散光概述

散光是导致视力下降的主要原因之一, >0.75 D 的散光便会引起重影、眩光等视觉干扰现象[2], 甚至影响高对比度和低对比度的中间视力和近视力[3] [4]。在白内障患者中, 低度数角膜散光的普遍性备受关注。研究数据显示, 在不同国家和地区的白内障患者中, 存在着相当比例的患者合并低度数的角膜散光。Hoffmann 等人对 23,239 只眼睛的光学生物组学数据进行评估, 发现 36% 的眼睛存在 >1 D 的角膜散光[5]。在英国一项对 10 万多名接受白内障手术的患者进行的研究中显示[6], 78% 的患者角膜散光 ≥ 0.5 D, 42% 的患者角膜散光 ≥ 1 D, 21% 的患者角膜散光 ≥ 1.5 D。而根据我国的流行病学调查显示[1] [7] [8], 约 31%~34% 的白内障患者术前存在低度数(0.75~1.50 D)的角膜散光。

随着年龄增长, 散光的患病率随之增加, 逆规散光的比例亦随之增大[9] [10]。白内障手术后, 患者希望拥有良好的视力, 而不需要依赖眼镜或隐形眼镜, 因此角膜的屈光状态对于实现白内障手术后的最佳视力至关重要。随着散光度数每增加 1 D, 散光引起的视物模糊以及患者对眼镜的需求显著增加[11]。因此, 即使是低度数的未矫正角膜散光也可能对白内障患者术后的舒适度和视觉质量产生明显影响。

多项研究已明确指出, 残余散光是多焦点和单焦点人工晶体植入手术后引起患者视力模糊和不满意的主要原因之一[12] [13]。因此, Schallhorn [14]的研究团队提出, 手术前应对角膜散光进行准确评估, 并建议进行散光矫正时将 >0.50 D 的角膜散光考虑在内, 以最大程度减少术后残余散光带来的不良视觉影响。目前, 白内障患者角膜散光的矫正可通过多种技术实现, 包括制作角膜或角膜缘松解切口、规划白内障手术切口的大小和位置、植入散光矫正型人工晶状体等。

3. 角膜切开

在 20 世纪 80 年代中期, 角膜切开术开始被应用于人工晶体植入手术中, 以矫正白内障患者术前存在的角膜散光[15]。目前这一技术现已被广泛使用, 临床上常见的角膜切开可通过手工制作角膜切口或利用飞秒激光辅助进行。有研究报道角膜弧形切开可用于矫正 0.75~7.00 D 的角膜散光[16], 在白内障术中通过合理设计角膜切口的位置、长度、深度、数量等因素, 可以实现良好的散光矫正效果[17] [18] [19]。根据角膜切口在手术中不同位置和数量的应用, 可对角膜切口进行分类:

3.1. 散光性角膜切开术

散光性角膜切开术(Astigmatic Keratotomy, AK), 也称为透明角膜松解切开术(Corneal Relaxing Incisions, CRIS), 其切口一般位于旁中央的透明角膜区域, 即角膜光学区直径约 6~9 mm 范围内, 深度通常达 90%~95%。

散光性角膜切开在角膜的最大屈光力子午线上制作单个或成对弧形松解性角膜切口, 使该方向上的角膜曲率变小, 屈光力减少, 而与之相垂直的径线则会由平坦变为陡峭, 引起屈光力的增加, 这种相互影响的变化被称为“偶联效应” [20]。利用偶联效应来平衡屈光力的变化, 使各个方向上屈光力更接近, 角膜从而更趋于规则的球面, 以达到矫正散光的目的。角膜弧形切口通常可用在线计算器(<http://www.lricalculator.com>)进行预测及设计或参考诺模图(Nomogram)来规划[21]。

关于 AK 在矫正白内障患者低度角膜散光中的应用, Chen [22]等报告在实时波前像差分析仪和眼球追踪系统辅助下, 合并 ≤ 1.25 D 的规则性角膜散光白内障患者, 经手动散光性角膜切开术后, 角膜散光较术前显著减少, 术后散光 < 0.5 D 的患者比例达到 87%, 但术后观察时间较短, 可能存在散光不稳定的情况。另外, 曹迎雪[23]等在导航引导下进行弧形角膜松解切口的制作时, 针对角膜散光度数为 0.75~1.24 D 的白内障患者, 术者在 8.0 mm 光学区域、陡峭轴子午线方向的下端制作了切口深度为 0.50 mm, 弧长 50°的角膜切口。结果显示, 患者术后的散光分布较术前减少且出现较好的集中趋势, 裸眼视力较单纯超声乳化组的更好, 但 AK 组散光矫正量较术前角膜散光高, 提示可能存在过矫的情况。

散光性角膜切开术, 可矫正的散光度数范围大, 且操作简单, 在导航系统辅助下, 能在一定程度上加强手术切口的可控性及矫正散光的可预测性, 但与手术医生的经验和技术水平等密切相关。这些人为因素导致角膜切口存在可重复性低、变异性高等问题, 因而在矫正白内障患者低度角膜散光中的应用较少。此外, 切口距离光学中心较近可能导致眩光或异物感等不适, AK 术后还可能存在着散光度数回退、角膜愈合不良、角膜炎等潜在并发症的风险[24] [25]。

3.2. 角膜缘松解切开术

角膜缘松解切开术(Limbal Relaxing Incision, LRI), 或称为周边角膜松解切口(Peripheral Corneal Relaxing Incision, PCRI), 其切口通常位于角膜中央直径 9 mm 外、角膜缘血管拱环内 0.5~1.0 mm 区域, 为非穿透性切口, 深度达角膜 80%~90%。

在散光矫正型人工晶体问世前, LRI 作为一种安全有效且简单、经济的散光矫正术式, 在临床上被广泛应用于治疗低至中度角膜散光, LRI 联合白内障手术尤其适用于无法获得或承担更昂贵精准的手术方案(如散光矫正型人工晶体或准分子激光)的角膜散光患者[26]。

Ganekal [27]等研究显示, 术前合并 1.0~2.0 D 角膜散光的患者使用 LRI 显著降低了术前散光, 且屈光状态在 6 个月内保持稳定, 但该研究缺乏对照组。Liu [28]等人的研究中显示, 术前合并 0.75~1.50 D 的低度数角膜散光患者接受角膜缘松解切开术后与散光晶体组的散光矫正效果及术后稳定性无明显差异。王峥[29]等人的研究中表明 LRI 组在术后各检测时间点, 患者角膜散光度数均较术前降低, 但在 30、

90 天后部分患者散光度数出现回退。王海燕[30]等研究报告, 238 例合并中低度数的角膜散光的白内障患者行 LRI 术后, 患者在术后不同时间点裸眼视力及最佳矫正视力均较术前均明显提高, 术后角膜散光较术前明显降低。但在术后 6 个月 LRI 组散光矫正效果有所回退, 考虑为角膜松解切口随时间瘢痕修复引起, 对于散光的长期稳定的矫正效果 LRI 组略差于散光晶体组。

角膜缘松解切开术简单易行, 与 AK 相比, LRI 的角膜切口距离光学中心较远, 出现眩光或术后不适的风险低, 但长期随访中可能出现不同程度的散光矫正效果回退, 同时亦存在潜在的并发症, 如异物感、感染、角膜穿透、角膜感觉下降等。

3.3. 飞秒激光辅助角膜弧形切开

飞秒激光是一种近红外激光, 以脉冲式的微爆破效应对被照射组织产生精密的切割效应, 穿过透明材料时直接作用于组织内部几乎不损失能量亦不被组织吸收, 不对周围组织产生损伤, 确保了眼内使用的安全性[31]。飞秒激光辅助角膜弧形切开(Femtosecond Laser-assisted Arcuate Keratotomy, FS-AK), 由计算机程序设定角膜切口的定位、弧度和深度, 通过微米级别的精确操控, 具有精准切削、切口平滑、高安全性、可预测性等优势, 为低度角膜散光的矫正提供了新的选择。

Roberts [32]等的研究显示, 进行手动角膜缘松弛切口或飞秒激光辅助弧形角膜切开术均实现了角膜散光的减少, 而飞秒组报告了较高的矫正指数(correction index, CI) (0.73 ± 0.49 , 理想参考值为 1)及较小的矢量误差(difference vector, DV) (0.89 ± 0.54 , 理想值为 0)。Visco [33]等对术前合并 0.5~2.0 D 角膜散光的 143 例白内障患者进行回顾分析, 结果显示 FS-AK 术后 95.8% 的患者术后散光度数不超过 0.5 D, 与术前角膜散光相比散光度数明显减少, 且随访 12 个月内未见显著变化。Rani [34]等观察到在术前角膜散光范围为 0.4~1.5 D 的白内障患者中进行 FS-AK, 术前术后的角膜散光分别为(0.85 ± 0.27) D 和(0.47 ± 0.25) D。Wendelstein [35]等报告了中低度数角膜散光患者接受 FS-AK 术后, 术后各随访时间点角膜散光均较术前明显降低, 裸眼视力提高, 约 97% 的患眼实现残余散光 ≤ 0.5 D, 术后 12 个月平均矫正指数为 0.98 ± 0.2 , 提示 FS-AK 矫正角膜散光精确且可预测性强。

Diakonis [36]等提出, 即使是同一位经验丰富的手术医生的连续病例中, 其手工制作的角膜切口在长度、位置和结构上亦可能存在个体差异和低可重复性。而 FS-AK 减少了人为因素对手术结果的影响, 切口可重复性强, 且较少引起角膜高阶像差的增加, 既往对 FS-AK 的综述显示术后并发症发生率较低[37], González [38]等综述纳入的研究均未报告与常规角膜切开术相关的严重并发症, 仅有部分研究报告了轻微的不良反应如角膜擦伤、术后黄斑水肿等, 以及报告了一例小的角膜穿孔但未造成严重后遗症[34]。FS-AK 为散光患者提供了更安全、更优质的手术选择, 但手术费用较高, 其成本效益分析仍存在争议。

3.4. 透明角膜切口

透明角膜切口(Clear Corneal Incision, CCI), 无需缝合即可自行密闭, 是白内障超声乳化手术中常用的手术切口技术, 按照切口数量的不同可分为单侧透明角膜切口(Single Clear Corneal Incision, SCCI)和对侧透明角膜切口(Opposite Clear Corneal Incision, OCCI)。

在陡峭轴上制作透明角膜切口, 可以利用手术切口产生的术源性散光(Surgically Induced Astigmatism, SIA)矫正部分角膜散光。切口的宽度是影响 SIA 的重要因素, 手术切口根据其宽度可分为标准切口(3.1~3.4 mm)、小切口(2.8~3.0 mm)和微小切口(≤ 2.2 mm) [39], 研究表明切口减小 0.5 mm 对应 SIA 约减少 0.25 D [40]。对于术前角膜散光较小的患者可采用小切口手术, 以实现较小的散光矫正效应。杨娜[41]等研究报道, 对角膜散光为 1.00~1.50 D 的患者, 在陡峭轴上行 2.8 mm 的单侧透明角膜切口联合非球面人工晶体植入, 术后患者的裸眼视力改善, 且散光度数较术前明显降低, 由术前的(1.42 ± 0.41)

D 降低至 (0.78 ± 0.55) D。

OCCI 需在角膜最大屈光力轴向上设置一个透明角膜主切口,并在轴位对侧透明角膜上制作另一个相同的散光矫正切口,既往的研究显示,OCCI 可矫正约 2 D 的散光[42] [43]。Ren [44]等报道了与 SCCI 相比,使用 3.0 mm 的 OCCI 可有效矫正白内障手术中的轻中度角膜散光,角膜散光减少量为 (0.61 ± 0.38) D,且两组术后角膜像差无明显差异。Zhou [45]等研究显示,在陡峭子午线上使用 3.0 mm 的对侧透明角膜切口可以矫正 0.50 D 至 3.00 D 的角膜散光,患者的平均角膜散光从术前的 (-0.835 ± 0.274) D 显著降低至术后 1 个月时的 (-0.535 ± 0.353) D 及术后 12 个月时的 (-0.450 ± 0.346) D,且术后裸眼视力明显提高。术后散光可能在透明角膜切口愈合过程中发生变化,但通常在白内障手术后 3 个月稳定[46]。

在陡峭轴上设置透明角膜切口简单易行,不需使用特殊的器械,但因每位患者陡峭轴位的不同需要术者改变常用的习惯手术操作位置,这对术者的手术技巧及熟练度要求较高。与 LRI 或 AK 等非穿透性技术相比,透明角膜切口,尤其是 OCCI,其潜在的并发症为额外的穿透性切口导致的眼内炎风险,然而,在标准白内障手术中,尤其是在使用抗生素预防的情况下,眼内炎的总体风险非常低[47] [48]。

4. 散光矫正型人工晶状体

随着患者对白内障手术后更好的视觉质量和裸眼视力的需求不断增加,散光矫正型人工晶状体(Toric Intraocular Lens, Toric IOL)已被广泛应用,成为白内障术中同时矫正角膜散光的重要术式。《我国散光矫正型人工晶状体临床应用专家共识(2017 年)》强调了 Toric IOL 的适用范围:规则性角膜散光 ≥ 0.75 D,并对远视力有需求、有脱镜意愿的白内障患者[7]。最初, Toric IOL 主要应用于中度至高度散光患者,展现出了准确的散光矫正效果以及良好的安全性和旋转稳定性[49] [50],确保 Toric IOL 与散光轴的准确对位是患者获得最佳术后视觉效果的关键。

随着眼部生物测量和 IOL 计算公式准确度的提高,使用 Toric IOL 矫正低度数角膜散光已成为一种更安全、更可预测的选择。Hienert [51]等研究报道,接受双眼白内障手术的低度角膜散光患者(0.75~1.50 D)中,一眼随机选用 Toric IOL 或非球面 IOL,对侧眼则植入另一类型 IOL,结果显示散光矫正术后裸眼视力更好,术后残余散光在主觉验光与自动验光的结果(0.25 D 和 0.50 D)均明显低于非散光矫正眼(0.50 D 和 1.00 D)。谭青青[52]等研究中,对比分析了 12 项研究中 Toric IOL 植入与角膜切口术式在中低度数角膜散光矫正中的有效性及安全性,发现两种手术安全性无明显差异,但 Toric IOL 具有更好的散光矫正效应。杨娜[41]等研究显示,比起使用陡峭轴 CCI 组,合并 1.00~1.50 D 的低度数散光患者行右上方透明角膜切口联合 Toric 晶体植入组的术后残余散光更低。对于低度角膜散光患者,植入 Toric IOL 不需改变角膜原有的组织结构,在提高术后裸眼视力和矫正残余散光方面比散光性角膜切开术式可预测性更高、远期稳定性更好[30] [53]。

散光矫正型人工晶状体在矫正低度角膜散光方面表现出更高的精准性,但对于不规则角膜散光、囊袋稳定性差的白内障患者不适用,且 Toric IOL 费用相对较高,需全面考虑患者眼部条件、手术期望、经济情况等多方面因素选择最适合的手术方案。

5. 小结

在屈光性白内障手术时代,即使是低度数的角膜散光也是影响患者获得更好的术后屈光状态和视觉质量的重要因素。随着各种新型手术技术和人工晶状体的设计不断推陈出新,为白内障手术联合矫正角膜散光提供了更多选择。临床医生应通过术前精准的眼部生物测量、稳定的手术技术以及合理的手术方式的选择,以最大程度地矫正或减少术后残余散光,为患者提供更优质的视觉质量和更舒适的手术体验。

参考文献

- [1] Chen, W., Zuo, C., Chen, C., *et al.* (2013) Prevalence of Corneal Astigmatism before Cataract Surgery in Chinese Patients. *J Cataract Refract Surg*, **39**, 188-192. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2012.08.060>
- [2] 邢茜, 管怀进, 吴坚. 超声乳化白内障吸除联合散光型人工晶状体植入临床观察[J]. 中国实用眼科杂志, 2010, 28(11): 1199-1202.
- [3] Watanabe, K., Negishi, K., Kawai, M., *et al.* (2013) Effect of Experimentally Induced Astigmatism on Functional, Conventional, and Low-Contrast Visual Acuity. *Journal of Refractive Surgery*, **29**, 19-25. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20121211-01>
- [4] Datta, A., Richdale, K., Tomiyama, E.S., *et al.* (2021) Near Visual Function Measured with a Novel Tablet Application in Patients with Astigmatism. *Clinical and Experimental Optometry*, **104**, 42-47. <https://doi.org/10.1111/cxo.13138>
- [5] Hoffmann, P.C. and Hütz, W.W. (2010) Analysis of Biometry and Prevalence Data for Corneal Astigmatism in 23, 239 Eyes. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **36**, 1479-1485. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2010.02.025>
- [6] Day, A.C., Dhariwal, M., Keith, M.S., *et al.* (2019) Distribution of Preoperative and Postoperative Astigmatism in a Large Population of Patients Undergoing Cataract Surgery in the UK. *British Journal of Ophthalmology*, **103**, 993-1000. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2018-312025>
- [7] 中华医学会眼科学分会白内障与人工晶状体学组. 我国散光矫正型人工晶状体临床应用专家共识(2017年) [J]. 中华眼科杂志, 2017, 53(1): 7-10.
- [8] Yuan, X., Song, H., Peng, G., *et al.* (2014) Prevalence of Corneal Astigmatism in Patients before Cataract Surgery in Northern China. *Journal of Ophthalmology*, **2014**, Article ID: 536412. <https://doi.org/10.1155/2014/536412>
- [9] Liu, Y.C., Chou, P., Wojciechowski, R., *et al.* (2011) Power Vector Analysis of Refractive, Corneal, and Internal Astigmatism in an Elderly Chinese Population: The Shihpai Eye Study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **52**, 9651-9657. <https://doi.org/10.1167/iovs.11-7641>
- [10] Hayashi, K., Sato, T., Sasaki, H., *et al.* (2018) Sex-Related Differences in Corneal Astigmatism and Shape with Age. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **44**, 1130-1139. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.06.020>
- [11] Wilkins, M.R., Allan, B. and Rubin, G. (2009) Spectacle Use after Routine Cataract Surgery. *British Journal of Ophthalmology*, **93**, 1307-1312. <https://doi.org/10.1136/bjo.2008.151829>
- [12] Berdahl, J.P., Hardten, D.R., Kramer, B.A., *et al.* (2018) Effect of Astigmatism on Visual Acuity after Multifocal Versus Monofocal Intraocular Lens Implantation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **44**, 1192-1197. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.06.048>
- [13] Mayer, W.J., Kreutzer, T., Dirisamer, M., *et al.* (2017) Comparison of Visual Outcomes, Alignment Accuracy, and Surgical Time between 2 Methods of Corneal Marking for Toric Intraocular Lens Implantation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **43**, 1281-1286. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.07.030>
- [14] Schallhorn, S.C., Hettinger, K.A., Pelouskova, M., *et al.* (2021) Effect of Residual Astigmatism on Uncorrected Visual Acuity and Patient Satisfaction in Pseudophakic Patients. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **47**, 991-998. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000560>
- [15] Osher, R.H. (1989) Paired Transverse Relaxing Keratotomy: A Combined Technique for Reducing Astigmatism. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **15**, 32-37. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(89\)80137-3](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(89)80137-3)
- [16] Bayramlar, H., Karadag, R., Cakici, O., *et al.* (2016) Arcuate Keratotomy on Post-Keratoplasty Astigmatism Is Unpredictable and Frequently Needs Repeat Procedures to Increase Its Success Rate. *British Journal of Ophthalmology*, **100**, 757-761. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2015-306738>
- [17] Wang, L., Xiao, X., Zhao, L., *et al.* (2017) Comparison of Efficacy between Coaxial Microincision and Standard-Incision Phacoemulsification in Patients with Age-Related Cataracts: A Meta-Analysis. *BMC Ophthalmology*, **17**, Article No. 267. <https://doi.org/10.1186/s12886-017-0661-6>
- [18] Hayashi, K., Yoshida, M., Hirata, A., *et al.* (2018) Changes in Shape and Astigmatism of Total, Anterior, and Posterior Cornea after Long versus Short Clear Corneal Incision Cataract Surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **44**, 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.10.037>
- [19] 梁景黎, 邢秀丽, 杨晓彤, 等. 2.2Mm 和 3.0Mm 透明角膜切口超声乳化白内障吸除术后全角膜及角膜前后表面术源性散光的比较分析[J]. 中华眼科杂志, 2019, 55(7): 495-501.
- [20] Guirao, A. (2005) Theoretical Elastic Response of the Cornea to Refractive Surgery: Risk Factors for Keratectasia. *Journal of Refractive Surgery*, **21**, 176-185. <https://doi.org/10.3928/1081-597X-20050301-14>
- [21] Baharozian, C.J., Song, C., Hatch, K.M., *et al.* (2017) A Novel Nomogram for the Treatment of Astigmatism with Femtosecond-Laser Arcuate Incisions at the Time of Cataract Surgery. *Clinical Ophthalmology*, **11**, 1841-1848. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S141255>

- [22] Chen, M., Reinsbach, M., Wilbanks, N.D., *et al.* (2019) Utilizing Intraoperative Aberrometry and Digital Eye Tracking to Develop a Novel Nomogram for Manual Astigmatic Keratotomy to Effectively Decrease Mild Astigmatism during Cataract Surgery. *Taiwan Journal of Ophthalmology*, **9**, 27-32. https://doi.org/10.4103/tjo.tjo_6_18
- [23] 曹迎雪, 王军. 超声乳化白内障吸除联合导航下弧形角膜切开后角膜散光变化的初期观察[J]. 中华眼科杂志, 2019, 55(7): 502-508.
- [24] Leung, D.Y., Yeung, E.F., Law, R.W., *et al.* (2004) *In Vivo* Confocal Microscopy of Epithelial Inclusions from Aberrant Wound Healing after Astigmatic Keratotomy. *Cornea*, **23**, 299-301. <https://doi.org/10.1097/00003226-200404000-00014>
- [25] 云睿, 边立娟, 刘敏, 等. 白内障术中矫正角膜散光的研究进展[J]. 中国眼耳鼻喉科杂志, 2021, 21(1): 55-59.
- [26] Abu-Ain, M.S., Al-Latayfeh, M.M. and Khan, M.I. (2022) Do Limbal Relaxing Incisions During Cataract Surgery Still Have a Role? *BMC Ophthalmology*, **22**, Article No. 102. <https://doi.org/10.1186/s12886-022-02327-9>
- [27] Ganekal, S., Dorairaj, S. and Jhanji, V. (2011) Limbal Relaxing Incisions during Phacoemulsification: 6-Month Results. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **37**, 2081-2082. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.09.002>
- [28] Liu, Z., Sha, X., Liang, X., *et al.* (2014) Toric Intraocular Lens vs. Peripheral Corneal Relaxing Incisions to Correct Astigmatism in Eyes Undergoing Cataract Surgery. *Eye Science*, **29**, 198-203.
- [29] 王峥, 张琳, 郑帆, 等. 白内障术中采用不同方式矫正中低度角膜散光的疗效观察[J]. 福建医药杂志, 2016, 38(2): 15-18.
- [30] 王海燕, 孙朝晖, 冯艳霞, 等. 两种散光矫正方式治疗白内障合并中低度数角膜散光的临床对比研究[J]. 中国医学装备, 2020, 17(8): 113-117.
- [31] Lin, H.Y., Chen, S., Chuang, Y.J., *et al.* (2022) Effectiveness of Reducing Corneal Astigmatism after Combined High-Freq Uency LDV Z8 Femtosecond Laser-Assisted Phacoemulsification and Arcuat E Keratotomy. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, **10**, Article 1036469. <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.1036469>
- [32] Roberts, H.W., Wagh, V.K., Sullivan, D.L., *et al.* (2018) Refractive Outcomes after Limbal Relaxing Incisions or Femtosecond Laser Arcuate Keratotomy to Manage Corneal Astigmatism at the Time of Cataract Surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **44**, 955-963. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.05.027>
- [33] Visco, D.M., Bedi, R. and Packer, M. (2019) Femtosecond Laser-Assisted Arcuate Keratotomy at the Time of Cataract Surgery for The Management of Preexisting Astigmatism. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **45**, 1762-1769. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2019.08.002>
- [34] Rani, K., Grover, A.K., Singh, A.K., *et al.* (2020) Correction of Preexisting Astigmatism by Penetrating Arcuate Keratotomy in Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery. *Indian Journal of Ophthalmology*, **68**, 1569-1572. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_2060_19
- [35] Wendelstein, J.A., Hoffmann, P.C., Mariacher, S., *et al.* (2021) Precision and Refractive Predictability of a New Nomogram for Femtosecond Laser-Assisted Corneal Arcuate Incisions. *Acta Ophthalmologica*, **99**, e1297-e1306. <https://doi.org/10.1111/aos.14837>
- [36] Diakonis, V.F., Yesilirmak, N., Cabot, F., *et al.* (2015) Comparison of Surgically Induced Astigmatism between Femtosecond Laser and Manual Clear Corneal Incisions for Cataract Surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **41**, 2075-2080. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2015.11.004>
- [37] Vickers, L.A. and Gupta, P.K. (2016) Femtosecond Laser-Assisted Keratotomy. *Current Opinion in Ophthalmology*, **27**, 277-284. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000267>
- [38] González-Cruces, T., Cano-Ortiz, A., Sánchez-González, M.C., *et al.* (2022) Cataract Surgery Astigmatism Incisional Management. Manual Relaxing Incision versus Femtosecond Laser-Assisted Arcuate Keratotomy. A Systematic Review. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, **260**, 3437-3452. <https://doi.org/10.1007/s00417-022-05728-0>
- [39] 李盼盼, 管怀进, 吴坚. 白内障术中联合矫正角膜散光的研究进展[J]. 中华实验眼科杂志, 2019, 37(4): 304-307.
- [40] Hayashi, K., Hayashi, H., Nakao, F., *et al.* (1995) The Correlation between Incision Size and Corneal Shape Changes in Sutureless Cataract Surgery. *Ophthalmology*, **102**, 550-556. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(95\)30983-9](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(95)30983-9)
- [41] 杨娜, 刘志英, 董竟. Toric 人工晶体与角膜陡峭轴切口矫正白内障合并低度散光的临床研究[J]. 包头医学院学报, 2022, 38(11): 74-79.
- [42] 陈星, 于建春. 白内障手术同时矫正散光的方法研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2015, 15(6): 993-996.
- [43] 杨丽红, 汤欣. 白内障手术同时矫正术前散光的研究进展[J]. 中华眼科杂志, 2011, 47(6): 573-576.
- [44] Ren, Y., Fang, X., Fang, A., *et al.* (2019) Phacoemulsification with 3.0 and 2.0 Mm Opposite Clear Corneal Incisions for Correction of Corneal Astigmatism. *Cornea*, **38**, 1105-1110. <https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000001915>

-
- [45] Zhou, J., Wang, X., Wei, Y., *et al.* (2024) The Efficacy of Paired Opposite Clear Corneal Incisions Correcting Preexisting Low-to-Moderate Astigmatism in Implantable Collamer Lens Surgery. *Journal of Refractive Surgery*, **40**, e20-e29. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20231212-02>
- [46] Chiam, P.J. (2015) Effect of Paired Opposite Clear Corneal Incisions on with-the-Rule versus against-the-Rule Astigmatism. *Cornea*, **34**, 901-905. <https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000000441>
- [47] Endophthalmitis Study Group and Refractive, S. (2007) Prophylaxis of Postoperative Endophthalmitis Following Cataract Surgery: Results of the ESCRS Multicenter Study and Identification of Risk Factors. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **33**, 978-988. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2007.02.032>
- [48] HariPriya, A., Chang, D.F. and Ravindran, R.D. (2019) Endophthalmitis Reduction with Intracameral Moxifloxacin in Eyes with and without Surgical Complications: Results from 2 Million Consecutive Cataract Surgeries. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **45**, 1226-1233. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2019.04.018>
- [49] Bauer, N.J., De Vries, N.E., Webers, C.A., *et al.* (2008) Astigmatism Management in Cataract Surgery with the AcrySof Toric Intraocular Lens. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **34**, 1483-1488. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2008.05.031>
- [50] Visser, N., Ruíz-Mesa, R., Pastor, F., *et al.* (2011) Cataract Surgery with Toric Intraocular Lens Implantation in Patients with High Corneal Astigmatism. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **37**, 1403-1410. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.03.034>
- [51] Hienert, J., Ruiss, M., Hirschall, N., *et al.* (2023) Assessing the Astigmatism-Reducing Effect of Toric Intraocular Lenses in Eyes with Low Astigmatism: Randomized Masked Bilateral Comparison. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **49**, 826-831. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000001211>
- [52] 谭青青, 廖萱, 兰长骏, 等. Toric 人工晶状体与角膜切口矫正白内障低中度角膜散光比较的 Meta 分析[J]. 中华眼科杂志, 2019, 55(7): 522-530.
- [53] Rocha-De-Lossada, C., Rodríguez-Vallejo, M., Rodríguez-Calvo-De-Mora, M., *et al.* (2023) Managing Low Corneal Astigmatism in Patients with Presbyopia Correcting Intraocular Lenses: A Narrative Review. *BMC Ophthalmology*, **23**, Article No. 254. <https://doi.org/10.1186/s12886-023-03003-2>