

不同青光眼术式对术后屈光状态的影响

陈紫璇¹, 钟珊²

引用: 陈紫璇, 钟珊. 不同青光眼术式对术后屈光状态的影响. 国际眼科杂志, 2026, 26(3): 417-423.

基金项目: 广西自然科学基金项目 (No.2023GXNSFAA026086)

作者单位: ¹(533000) 中国广西壮族自治区百色市, 右江民族医学院; ²(530022) 中国广西壮族自治区南宁市, 广西医学科学院广西壮族自治区人民医院

作者简介: 陈紫璇, 女, 在读硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 青光眼、白内障。

通讯作者: 钟珊, 女, 硕士, 主任医师, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 青光眼、白内障. 635030352@qq.com

收稿日期: 2025-09-13 修回日期: 2026-01-19

摘要

青光眼作为全球首位的不可逆性致盲眼病, 其治疗策略始终是眼科领域的研究焦点。以小梁切除术(联合丝裂霉素)及青光眼引流阀植入术为代表的传统术式, 因降眼压效果显著, 至今仍是青光眼手术的金标准。但此类手术后并发症发生率较高, 且手术前后眼内参数的变化易引发屈光预测偏差, 对患者视觉质量造成不利影响。近年来, 微创青光眼手术(MIGS)优势凸显, 在减少并发症、缩短手术时间、缩小手术切口及促进视力恢复等方面表现突出, 且能更好地维持术后屈光稳定。文章系统综述传统青光眼手术与微创青光眼手术对屈光影响的差异, 深入探讨其机制与临床应对策略, 旨在为青光眼手术的精准屈光管理提供理论依据, 最终提升患者视觉质量和生活水平。

关键词: 传统青光眼手术; 微创青光眼手术; 青白联合手术; 屈光变化

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2026.3.09

Effect of different glaucoma surgeries on postoperative refractive status

Chen Zixuan¹, Zhong Shan²

Foundation item: Guangxi Natural Science Foundation (No. 2023GXNSFAA026086)

¹Youjiang Medical University for Nationalities, Baise 533000, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China; ²Guangxi Academy of Medical Sciences; the People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

Correspondence to: Zhong Shan. Guangxi Academy of Medical Sciences; the People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China. 635030352@qq.com

Received: 2025-09-13 Accepted: 2026-01-19

Abstract

• Glaucoma, the leading cause of irreversible blindness worldwide, remains a central focus of ophthalmic research, particularly with regard to surgical management. Conventional procedures, such as trabeculectomy with mitomycin and glaucoma drainage device implantation, continue to be considered the gold standard because of their strong intraocular pressure lowering efficacy. However, these operations are associated with relatively high rates of postoperative complications, and perioperative fluctuations in intraocular parameters can introduce refractive prediction errors that ultimately compromise visual quality. In recent years, minimally invasive glaucoma surgery (MIGS) has gained increasing attention for its advantages in reducing complications, shortening operative time, minimizing incision size, and accelerating visual recovery, while better preserving postoperative refractive stability. This review systematically summarizes the differences in refractive outcomes between conventional surgery and MIGS, examines the underlying mechanisms, and discusses practical clinical strategies to manage refractive shifts. The aim is to provide a theoretical foundation for precise refractive management in glaucoma surgery, thereby enhancing patients' visual quality and overall quality of life.

• **KEYWORDS:** traditional glaucoma surgery; minimally invasive glaucoma surgery; combined cataract and glaucoma surgery; refractive changes

Citation: Chen ZX, Zhong S. Effect of different glaucoma surgeries on postoperative refractive status. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2026, 26(3): 417-423.

0 引言

青光眼是全球首位不可逆的致盲眼病, 预计在 2040 年, 全球患病人数将增至 1.11 亿人。截至 2020 年, 我国的青光眼患者人数已增至 2 100 万, 位居全球首位^[1-2]。青光眼的核心发病机制是病理性高血压引发的视神经特征性损害, 眼压水平与青光眼的发病风险及疾病进展密切相关, 因此, 降低眼压成为防治青光眼的关键策略^[3], 治疗手段包括药物、激光及手术, 遵循阶梯原则——若药物治疗效果不佳, 需适时联合或升级至激光及手术治疗^[4-6]。传统青光眼手术, 如小梁切除术和青光眼引流装置植入术等, 虽能有效减低眼压, 但可能引起并发症^[6], 且手术前后眼部参数的改变, 易导致屈光误差。

近年来微创青光眼手术 (minimally invasive glaucoma surgery, MIGS) 迅速发展^[7], 包括减少房水生成的内窥镜

下激光睫状体光凝术(endocyclophotocoagulation, ECP);外引流手术,如EX-PRESS青光眼引流钉植入术、XEN凝胶支架植入术及PreserFlo青光眼引流器植入术;内引流手术,如小梁微型旁路支架植入(iStent inject)、内路小梁消融术(Trabectome)、Kahook双刃刀内路小梁切除术(Kahook dual blade goniotomy, KDB)及内路房角镜下微导管/缝线辅助的全周小梁切开术(gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy, GATT)^[5-6,8]。MIGS具有切口小,手术时间短,并发症发生率低及对屈光影响较小等优势^[9],不同MIGS手术后的屈光结果见表1。青光眼-白内障联合手术(青白联合手术)可以同时处理青光眼与白内障,在有效控制眼压并提升视力的同时,常引起患者屈光状态的改变,相关影响因素已成为当前研究的热点。

青光眼患者特有的眼部解剖特征是术后屈光不稳定的主要原因,其中眼轴(axial length, AL)、前房深度(anterior chamber depth, ACD)、晶状体厚度(lens thickness, LT)和白到白距离(white-to-white distance, WTW)、晶状体拱高(lens vault, LV)及周边前部虹膜黏连,均是预测术后屈光结果的关键因素。既往研究报道AL>22.56 mm和LT>5.055 mm会增加术后近视风险,AL<22.25 mm和WTW<11.55 mm则易导致远视漂移,若眼轴/角膜半径>2.986,术后近视风险更高^[10]。ACD每改变1 mm,可导致白内障术后0.32 D的屈光偏移,ACD越浅,远视漂移越明显^[11]。LV越大,术后越容易出现远视漂移,二者呈正相关^[12]。此外,青光眼患者若存在周边前部虹膜黏连,亦可导致术后近视漂移^[13]。除了解剖因素外,眼压同样对术后屈光稳定性产生重要影响。高血压患者术后易出现远视漂移,因此术前预留适度近视屈光度,有助于降低术后屈光误差的发生率^[14]。此外,非眼部相关因素同样不容忽视:手术医生的操作技术直接决定了手术

精准度与眼部组织的扰动程度;而术后眼压的控制质量与随访频次同样关键,若眼压出现剧烈波动或长期处于不稳定状态,会导致患者屈光状态持续发生动态改变。

本文旨在对比不同青光眼术式对术后屈光状态的短期与长期影响,深入剖析屈光变化的内在机制,并基于现有证据提出临床屈光管理策略,为术前精准预测术后屈光状态、制定个性化手术方案提供依据。

1 传统青光眼手术前后屈光变化

1.1 小梁切除术

研究表明白内障超声乳化联合小梁切除术后5 a内ACD和AL持续缩短^[15]。抗代谢药物延缓伤口愈合,使屈光稳定时间延迟。使用抗代谢药的小梁切除术,患者术后3 mo内出现顺规散光,后转为逆规散光,未使用者术后1 mo散光变化较小^[16]。Tzu等^[17]报道青白联合术较单纯白内障术更易引起散光(1.31 vs 0.99 D),且导致更多近视误差,可能是与AL和眼压变化影响有效晶状体位置(effective lens position, ELP)有关,其中眼压变化较大者AL缩短更加明显。远视误差与术前浅前房和眼压差异大相关。术前高眼压、浅前房及AL异常(过长或者过短)等均可能引起术后屈光误差,长眼轴易出现近视偏移,短眼轴易出现远视偏移,Barrett Universal II公式在联合手术中显示出较高预测准确性^[18-21]。

然而部分研究得出“联合手术与单纯白内障手术的屈光结果相似”的结论,他们认为年龄较大引起的巩膜胶原纤维结构的变化、ACD的改变以及LV的增大,导致人工晶状体(intraocular lens, IOL)位置发生较大变化,从而造成屈光误差^[22-24]。各研究结论的差异可能源于随访时间不同,术后出现近视误差的研究随访时间均在1 a内,术后屈光状态无明显差异的研究随访时间均在1 a以上。Chung等^[22]结果显示联合手术后3 mo呈近视误差,6 mo后转为远视误差,随着时间推移,屈光误差逐渐缩小到

表1 微创青光眼手术前后屈光变化

手术方式	文献作者	研究类型	结论	计算公式	影响因素
ECP联合白内障	Sheybani等 ^[30] ; Wang等 ^[31]	回顾性	近视误差	Hoffer Q、SRK/T及 Holladay 1	ELP、睫状体光凝的范围、 位置、能量、年龄及IOL计 算公式
	Kang等 ^[32] ; Azses-Halabe等 ^[33]	回顾性	对屈光无影响	SRK/T及Hoffer Q	
EX-PRESS联合白内障	Konopińska等 ^[36]	前瞻性	白内障联合EX-PRESS 与白内障联合小梁切 除术两组术前及术后 散光无差别		巩膜瓣周围的缝隙或瓣缝 合数量
XEN	Tatti等 ^[38]	前瞻性	ACD、K及BCVA保持 稳定		眼睛的结构性变化和缝合
PreserFlo	Wagner等 ^[43]	回顾性	中度近视偏移		青光眼亚型
iStent inject联合白内障	Scott等 ^[44]	回顾性	对屈光无影响		
Trabectome联合白内障	Luebke等 ^[47]	回顾性	对屈光无影响	SRK/T及Haigis	
KDB联合白内障	Hirabayashi等 ^[49]	前瞻性	对屈光和散光均无影响	Hoffer Q、Holladay 1 及SRK/T	较高的术前眼压和较差的 术前视力
	Sieck等 ^[50]	回顾性			
GATT联合白内障	Tekcan等 ^[51]	回顾性	Kane提供更高的IOL 度数计算预测性	SRK/T、Barrett- Universal II、Hill-RBF 及Kane	IOL计算公式、术后ACD和 ACA及术前AL

注: ECP:内窥镜下激光睫状体光凝术; iStent inject:小梁微型旁路支架植入术; Trabectome:内路小梁消融术; KDB:Kahook双刃刀内路小梁切除术; GATT:内路房角镜下微导管/缝线辅助的全周小梁切开术。

1.00 D以内,反映了屈光误差随术后时间推移渐趋稳定。此外,手术技术差异以及生物测量方法等因素也可能导致结论不一致。

手术顺序亦影响屈光结果。先行小梁切除再行白内障手术屈光误差较小(0.05 ± 0.36 D),反之为 0.35 ± 0.75 D^[25]。小梁切除术后再行白内障组比单纯白内障组的屈光误差更大;SRK II公式对于小梁切除术后再行白内障组及联合手术的屈光预见性更好^[21]。Lee等^[26]指出联合组(超声乳化白内障联合小梁切除术)与顺序组(小梁切除术后3 mo接受超声乳化白内障)术后屈光预测误差无显著差异,均出现近视偏移,这与ACD改变及眼压升高导致的AL延长有关。顺序组中,眼压每上升1 mmHg,预期和实际屈光之间将产生-0.07 D位移。

综上,小梁切除术联合白内障的屈光误差会随术后时间推移渐趋稳定。若行分步手术,先进行小梁切除术再行白内障可以获得更好的屈光结果。高眼压、浅前房、异常眼轴、年龄大均是屈光误差危险因素,使用光学生物测量和Barrett Universal II等新一代公式可以最小化计算误差。

1.2 青光眼引流装置植入术前后屈光变化 在纳入43眼的回顾性病例研究中,Tzu等^[17]比较小梁切除术和青光眼引流装置手术联合白内障术后6 mo的屈光结果,发现不同术式间无显著差异,单纯白内障组达到目标屈光的比例更高,散光更少。该研究同时指出,高龄患者因知觉验光困难和合并症的发生等,会导致更差的屈光结果。另一项纳入206眼的回顾性队列研究中,Asano等^[18]指出引流装置联合白内障手术与单纯白内障组在整体屈光误差上无差异,但短眼轴患者屈光结果趋于波动,由于短眼轴前房浅,具有更大的ELP误差。两项研究结果的差异可能来源于使用的光学测量仪、IOL计算公式及样本量等不同,Asano等^[18]研究中使用IOL Master 500进行生物测量,并应用Barrett universal II公式进行计算,此公式因引入ACD和LT参数,对于青白联合手术预测性更优。Mehta等^[27]报道联合手术中71%患者取得了良好的屈光结果(目标球镜度1.00 D以内)。该研究还发现,长眼轴易发生远视偏移,短眼轴易发生近视偏移。屈光结局受年龄、中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)、术前ACD以及术前和术后眼压等因素影响不大,而AL过长是屈光误差超过 ± 1.00 D的主要风险因素。

一般情况下,青光眼引流装置联合白内障手术可以获得良好的屈光结果,但AL异常(过短或过长)及高龄可能增加预测偏差,Barrett universal II能更好地预测青白联合手术后的屈光结果。

1.3 房角分离术前后屈光变化 超声乳化白内障吸除术和IOL植入术联合房角分离术是急性闭角型青光联合白内障的有效治疗手段。原发性闭角型青光眼(primary angle-closure glaucoma, PACG)具有AL短、前房浅、ACD与AL比值小、晶状体较厚以及睫状突前旋等解剖特点,使IOL度数预测困难。手术后前房加深及AL变短,会使IOL的位置更靠后,通常发生远视漂移。然而,Li等^[28]在纳入111例PACG患者的回顾性研究中发现,联合手术使用Kane和Barrett universal II预测误差接近于零,而Hoffer Q和SRK/T均出现明显的近视误差。此外,短眼轴

会导致术后屈光不正 >0.50 D的风险增大。年龄可能会影响SRK/T公式的IOL预测准确性,原因是随着年龄增长,晶状体变得更混浊和增厚,增加患青光眼的风险,并影响术前眼部生物测量值的测量;同时,年龄还会影响Schlemm管和小梁网的形态以及ACD测量,特别是在PACG患者中,这种情况更容易发生。新一代公式Barrett II、Kane及EVO 2.0等公式,纳入ACD及LT进行计算,使得屈光预测性更准确。Lin等^[29]对141例接受联合手术的PACG患者进行回顾性研究,比较了9种公式在联合手术中的屈光预测性,指出Kane、Holladay 1和EVO 2.0在闭角型青光眼中表现更优,并且在浅前房中表现出最高准确性。该研究同时指出,多数公式存在近视漂移,可能与囊袋容积较大等因素导致IOL倾斜或偏心,睫状体前旋增加,以及与正常眼相比术后ACD持续变浅等因素有关。

所以,在房角分离联合手术中推荐采用Kane、Barrett Universal II或EVO 2.0等新一代计算公式。多数传统公式表现出近视漂移,这与PACG的囊袋体积较大及悬韧带松弛有关。此外,短眼轴会增加术后屈光不正 >0.50 D的风险,高龄也会影响IOL屈光预测稳定性。

2 微创青光眼手术前后屈光变化

2.1 ECP手术前后屈光变化 在Sheybeni等^[30]进行的一项回顾性病例对照研究中,83例开角型青光眼患者接受了超声乳化联合ECP,58例仅接受单纯白内障治疗,该研究指出联合组术后易出现近视屈光误差(计算公式采用Hoffer Q、SRK/T和Holladay 1)。Wang等^[31]也得出类似的结论,研究对象为闭角型青光眼,计算公式采用Holladay 1,术后联合组同样出现近视屈光误差。无论是开角型青光眼还是闭角型青光眼,ECP联合白内障超声乳化都更容易出现近视误差,原因可能有以下几个方面:(1)ECP会导致睫状体形态、大小及位置的改变,晶状体悬韧带是唯一支撑晶状体位置的结构,它附着在睫状体内及晶状体囊外。ECP通过改变睫状体形态、大小及位置影响术后ELP,术后囊袋-晶状体复合体迁移前移,从而出现近视屈光性改变;(2)ECP导致炎症渗出,推动睫状体及晶状体复合体往前移,但这种效应是短暂的;(3)由于手术操作造成的原因,Wang等^[31]研究仅消融睫状体180°,可能导致IOL轻微向鼻侧偏移,球镜及柱镜发生改变,从而出现近视移位。此外,若激光作用于睫状体前部,睫状体及晶状体复合体往前移,会出现近视误差,若激光作用于睫状体后部,则会出现远视误差。亦有研究与上述结论不一致,Kang等^[32]发现联合组中,超过90%的患术后屈光结果在目标屈光 ± 1.00 D范围内,ECP不会显著改变ELP,是一种有效、安全且可预测的手术治疗方法,未达到目标屈光度的患者平均年龄为 81.5 ± 11.5 岁,原因包括:(1)随着年龄增长,环状韧带可能变弱,导致光凝术能量应用于相邻的睫状突时,环状韧带活动度更高,进而导致晶状体前移,出现近视移位。(2)在联合手术中使用的环状光凝术能量不同。Azses-Halabe等^[33]使用SRK/T公式并进行270°ECP,认为SRK/T公式预测性良好,联合手术与单纯白内障手术预测误差无显著差异,在进行ECP时,无需对IOL度数计算进行任何类型的校正。

综上,白内障联合ECP的屈光结果尚无一致观点。结论矛盾的主导因素很可能在于ECP治疗范围与位置及

IOL 计算公式的选择,而年龄、能量等因素通过放大或缩小这一效应起作用,光凝范围越广、能量越高、位置越靠前,越易导致睫状体环向心性收缩,引起晶状体悬韧带松弛、ELP 前移,从而产生近视偏移,此外,高龄患者环状韧带的活动度更高,易导致晶状体前移,出现近视移位。在临床中,可以通过优化 IOL 计算公式,调整光凝范围、能量及位置,来主动规避屈光意外的发生。

2.2 EX-PRESS 青光眼引流钉植入术前后屈光变化 一项纳入 19 例患者的前瞻性研究表明,EX-PRESS 青光眼引流钉植入术仅对眼前段参数产生短暂的影响,角膜曲率(keratometry, K)、ACD、前房体积(anterior chamber volume, ACV)和前房角(anterior chamber angle, ACA)在随访 3 mo 时均未受到影响。该研究同时提示,较高的眼压与较大的角膜厚度(corneal thickness, CT)有关,低眼压则与浅房角及高散光有关^[34]。Tanito 等^[35]对接受小梁切除术、EX-PRESS、外路小梁切开术及微钩内路小梁切开术的 80 眼进行回顾性研究,发现小梁切除组术后散光较大 1.01 D; EX-PRESS 组 0.62 D; 外路小梁切开术组 0.23 D; 微钩内路小梁切开术组 0.12 D, 其中微创手术导致的散光最小,原因可能在于:(1)术源性散光来源于的巩膜瓣周围的缝隙,而不是瓣缝合的数量,这一机制与是否制作巩膜瓣相关;(2)小梁切除术从巩膜瓣下取出组织然后缝合回去时,瓣会接近角膜边缘,由于没有足够生物支撑,角膜边缘会略微下沉,导致散光增大。EX-PRESS 青光眼引流钉植入术没有切除组织,缺乏第二种机制,这可以解释 EX-PRESS 组术后散光低于小梁切除组的原因。另一项前瞻性随机对照试验,将白内障联合小梁切除术的 43 眼及白内障联合 EX-PRESS 青光眼引流钉植入术的 38 眼的屈光结果进行比较,发现两组患者手术前后的散光并无差异,虽然两组使用了不同的手术器械,组织切除范围也不一样。Konopińska 等^[36]认为散光变化来源于手术引起的巩膜瓣周围的缝隙或瓣缝合数量(两组相同),而非巩膜瓣下组织切除导致角膜边缘失去支撑(两组不同)。

总之,EX-PRESS 青光眼引流钉植入术对患眼 K、ACD、ACV 及 ACA 仅产生短暂的影响。单独行 EX-PRESS 青光眼引流钉植入术所引起的术后散光低于单独行小梁切除术,而联合白内障手术时,两组患者手术前后散光并无差异。这一现象揭示了联合手术后屈光结果的复杂性-不仅是切口大小的问题,更是眼球生物力学和光学系统改变后的综合平衡。

2.3 XEN 凝胶支架植入术前后屈光变化 在一项回顾性比较性研究中,Bormann 等^[37]对 149 例青光眼患者进行了 24 mo 的随访,发现术后小梁切除术组散光为 0.75 ± 0.60 D, XEN 组为 0.81 ± 0.56 D, 两组术后散光无差异,可能与两种手术术后均可能出现的眼睑下垂及结膜滤过泡形成有关。在另一项前瞻性队列研究中,Tatti 等^[38]对 20 例原发性开角型青光眼患者行 XEN 凝胶支架植入术后 3 mo 进行观察,发现 ACD、K 和最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA)等方面均保持稳定。此研究使用丝裂霉素并形成了滤过泡,但并未进行缝合。研究指出青光眼手术后的屈光不正可能主要归因于眼睛的结构变化和缝合的使用,丝裂霉素和滤过泡形成的作用可以

忽略不计。

综上,XEN 凝胶支架植入术与小梁切除术引起术后散光无差异。在原发性开角型青光眼中,XEN 凝胶支架植入术后患者眼前段参数及视力表现稳定,具有良好的屈光安全性。

2.4 PreserFlo 青光眼引流器植入术前后屈光变化

PreserFlo 青光眼引流器植入术减小了传统滤过手术引起的眼前节改变,该术式仅在术后早期(1 wk-1 mo)导致生物测量参数(角膜散光、CCT、AL)的轻微和短暂变化,且对 ACD 和 ACV 无显著影响。若与白内障超声乳化术联合,术后 K 的变化仅超声乳化术有关,与 PreserFlo 引流器的植入无关^[39-41]。Nakakura 等^[42]前瞻性观察研究对 27 例 PreserFlo 青光眼引流器植入术和 29 例小梁切除术进行比较,两组术后生物参数的变化趋势相似:术后 6 mo 内 K 均保持不变,术后 1 wk ACD 均显著降低。PreserFlo 组在术后第 1 d,1 wk CCT 增加,可能的原因:术后早期眼压高于小梁切除组,因此增加了 CCT。在 AL 方面,PreserFlo 组术后 3 mo 显著缩短约 0.1 mm,小梁切除术组术后 6 mo 显著缩短 0.3 mm。研究者分析,两组术后眼压降低均导致眼球缩小,但由于小梁切除术的降眼压效果更强,因此其 AL 缩短的幅度更大、持续时间也更长。此外,在一项回顾性病例对照研究中,Wagner 等^[43]发现 35 例难治性开角型青光眼患者植入 PreserFlo 青光眼引流器术后屈光度从 0.5 D 到 1.1 D 的中度近视偏移。

综上,PreserFlo 青光眼引流器植入术对角膜散光、CCT、AL、ACD 及 ACV 等仅产生轻微且短暂的影响。相对于小梁切除术,PreserFlo 引流器植入对屈光状态的干扰更小,有利于与白内障手术相结合。但需要注意,单独施行该手术可能引起中度近视漂移。

2.5 小梁微型旁路支架植入术前后屈光变化 在一项纳入 76 例青光眼患者的回顾性研究中,Scott 等^[44]发现第一代的小梁微型旁路支架植入(iStent inject)设备拥有卓越的屈光结果。与单纯白内障手术相比,iStent inject 联合白内障手术没有显著增加的屈光意外风险,两组之间等效球镜没有差异,其中 80% 和 95% 的患者屈光度分别位于目标值 ± 0.5 D 和 ± 1.00 D 范围内,散光结果亦无统计学差异。Ioannidis 等^[45]研究进一步支持了这一结论,在 89 例联合飞秒激光辅助白内障手术并植入两个小梁微型旁路支架的患者中,术后 1 mo 时,73.9% 的患眼在 ± 0.5 D 的屈光度目标范围内,98.9% 的患眼在 ± 1.00 D 的范围内,表明第二代 iStent 设备也取得了优异的屈光效果,植入后不会对眼睛的屈光状态产生显著的影响^[45]。综合现有证据,第一代与第二代 iStent 支架植入总体屈光结果上没有观察到显著差异^[46]。

总之,小梁微型旁路支架植入不会影响屈光效果,可以安全的和白内障手术联合使用,在支架植入过程中的伤口拉伸量非常小,可以减少手术引起的角膜变化。不同的 iStent 支架植入在总体屈光结果上未观察到显著差异。

2.6 Trabectome 手术前后屈光变化 一项回顾性观察性研究对接受 Trabectome 联合白内障手术的 137 眼以及仅接受白内障手术的 1 704 眼进行比较。术后 2 mo 时,两组在生物测量预测误差和最佳矫正视力方面均无显著差异,但联合组术后黄斑囊样水肿发生率略高(2.2% vs 1.9%)。

可能的原因为假性剥脱性青光眼患者白内障手术的操作难度通常大于非假性剥脱性眼,从而增加了术后黄斑水肿的发生率^[47]。

综上,Trabectome 联合白内障手术不会对屈光状态产生明显影响,但在假性剥脱性青光眼患者中,需要注意术后黄斑水肿的发生。

2.7 KDB 手术前后屈光变化 Hirabayashi 等^[48]首次报道了 KDB 刀可能具有改变角膜散光的效应,由于瞳孔膜、周边虹膜、前房角和后角膜之间的解剖关系,接受 KDB 的患者可能会出现后角膜散光的变化。KDB 刀导致的术源性散光的一个来源是 KDB 器械对切口的操作。由于 KDB 器械相对于其他器械(如超声乳化探头)的尺寸较小,通常可经白内障超声乳化手术已有的透明角膜切口进行操作,因此并未显著增加手术本身引起的散光。这表明 KDB 联合超声乳化术对散光影响有限。在一项前瞻性研究中,对接受 KDB 联合超声乳化 40 眼和仅接受单纯超声乳化 20 眼,进行术后 1 mo 的随访,结果显示两组间 ≥ 0.50 D 术源性散光发生率无统计学差异^[49]。一直以来,屈光意外常与术后 AL 缩短相关,而 AL 缩短又与眼压下降有关。KDB 联合超声乳化术后平均眼压约维持在 12 mmHg 左右,接近生理眼压水平,因此对 AL 影响较小,进而可能减少对屈光结果的干扰。研究表明,接受超声乳化的青光眼患者,无论是否进行 KDB,其屈光结果没有差异,但较高的术前眼压和较差的术前视力可能导致术后屈光意外风险增加。原因包括:(1)术前视力较差的患者,眼部条件并不好,可能拥有角膜疾病或者晶状体混浊较重,导致 IOL 测量数据不准确;(2)术前高眼压患者因术后眼压下降幅度较大,可引发更显著的 AL 变化,进而导致屈光意外发生率^[50]。

总之,KDB 对术后散光及屈光结果无明显影响,但较高的术前眼压和较差的术前视力会导致术后更高的屈光意外发生。

2.8 GATT 手术前后屈光变化 Kane 公式结合了理论光学原理与人工智能算法,是所有 AL 范围内最精确的 IOL 计算公式。Tekcan 等^[51]回顾性分析了 53 例接受白内障超声乳化联合 GATT 的患者,发现 Kane 公式在 IOL 度数计算方面较 SRK/T 和 Barrett-Universal II 公式具有更好的预测性,其平均预测误差最接近零,且 Hill-RBF 3.0 的准确性与 Kane 公式相当。值得注意的是,SRK/T 的平均预测误差较 Barrett-Universal II 和 Hill-RBF 更偏向近视方向。此外,该研究还发现,联合手术后患者 AL 显著减小,而 ACD、前房角宽度、ACV 及 LT 显著增大。

在 GATT 联合白内障超声乳化手术中,尽管眼前段参数发生显著变化,Kane 公式仍表现出较好的屈光预测性。公式的预测屈光误差与术前 AL、术后 ACD 及术后 ACA 有关。

3 小结和展望

青光眼术后屈光变化机制主要包括:AL 改变(眼压波动引起)、ELP 变化(受 ACD、晶状体悬韧带状态及睫状体形态影响)、术源性散光(与手术切口、巩膜瓣制作及缝合相关)以及生物测量与 IOL 计算公式的局限性(尤其在异常解剖眼中)。不同术式影响这些机制的强度各异:传统滤过手术(如小梁切除术)对 AL、ELP 及散光的影响均

较显著,屈光波动大且稳定时间长;青光眼引流装置植入术对 AL 和 ELP 的影响相对温和;而多数 MIGS(如 iStent inject、KDB、Trabectome)对上述机制干扰最小,整体对屈光无影响,其术源性散光和 ELP 变化微弱。ECP 则主要通过改变睫状体结构显著影响 ELP,易导致近视漂移。此外,年龄也是影响术后屈光结果重要因素,尤其是在传统滤过手术及 ECP 中需予以特别关注。因此,在制定手术方案时,应权衡不同术式对屈光稳定性的潜在影响强度,并结合患者的个体因素(如年龄及眼部解剖特征)与眼压控制目标进行综合决策。

Barrett Universal II、Kane、EVO 2.0 等新一代公式因引入更多生物测量参数,在联合手术中屈光预测准确性更高,尤其适用于复杂眼部条件(短眼轴及浅前房等)。未来研究可以通过对比不同青光眼术式以及不同 IOL 计算公式的预测误差,使用统计学方法建立一个针对特定术式的 IOL 计算公式校正因子,以此来提高青光眼患者术后屈光稳定性。

青光眼手术向微创化与个性化发展已成趋势,在有效控制眼压的同时能最大限度保持术后屈光稳定性。人工智能在术前筛查、IOL 计算及自动屈光评估等方面展现出优势,能够做到精确预测 IOL 屈光力^[52-53],未来随着人工智能的发展以及手术技术的革新,术后屈光预测精确度有望持续提高。目前该领域多数研究为回顾性设计、样本量有限、随访时间较短。由于不同中心在手术技术、患者群体及测量设备方面的差异,导致部分术式出现屈光变化及主要影响因素不一致甚至矛盾,难以形成高级别的临床证据和强推荐。未来仍需开展更多前瞻性、多中心、大样本、长周期的临床研究,并通过直接对比不同 MIGS 屈光稳定性的随机对照试验,深入揭示各类青光眼手术影响屈光的确切机制,为推动青光眼手术的个体化与精准化管理提供更强有力的证据支持。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:陈紫璇论文选题与修改,文献检索,初稿撰写;钟珊选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] Yen WT, Lu DW. Special Issue "Advances in and Insights into the Treatment of Glaucoma". *Int J Mol Sci*, 2025,26(24):12135.
- [2] 高天雨,关徐涛,刘瑞宝,等.基于 GBD 数据库中国青光眼流行病学负担分析. *眼科新进展*, 2024,44(5):382-386,390.
- [3] Zaifar A, Pratomo TG, Suryono AN. Comparison between MIGS with trabeculectomy in the management of open-angle glaucoma with cataract: A systematic review. *Indian J Ophthalmol*, 2024, 72 (Suppl 3): S345-S353.
- [4] Hirooka K. Advanced Research in Glaucoma: Treatment and Postoperative Approaches. *J Pers Med*, 2023,13(6):895.
- [5] Chan PPM, Larson MD, Dickerson JE, et al. Minimally Invasive Glaucoma Surgery: Latest Developments and Future Challenges. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 2023, 12(6): 537-564.
- [6] Voykov B, Prokosch V, Lübke J. Minimally Invasive Glaucoma Surgery. *Dtsch Arztebl Int*, 2025, 122(1): 23-30.
- [7] Zhang X, Lin F, Li F, et al. Minimally Invasive Glaucoma Surgery: A New Era in Glaucoma Treatment. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 2023,12(6):509-511.

- [8] 孟素坤, 刘建荣. 基于小梁网-Schlemm管途径的微创青光眼手术治疗开角型青光眼的研究进展. 国际眼科杂志, 2025, 25(4): 583-588.
- [9] Nakagawa S, Kato Y, Totsuka K, et al. Surgically induced astigmatism and refractive outcomes after minimally invasive glaucoma surgery combined with cataract surgery. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 13966.
- [10] Liu Y, Dang K, Gong D, et al. Refractive error after phacoemulsification combined with intraocular lens implantation in primary angle-closure glaucoma: a multifactorial analysis of biometric parameters and surgical strategies. *Front Cell Dev Biol*, 2025, 13: 1654719.
- [11] Zeng Z, Zhu M, Zhang G. Accuracy of intraocular lens calculation formulas based on swept-source OCT biometer in cataract patients with phakic intraocular lens. *BMC Ophthalmol*, 2024, 24(1): 326.
- [12] 朱和林, 张坚, 严宏. 青光眼患者白内障手术人工晶状体计算公式的选择. 国际眼科杂志, 2023, 23(6): 928-932.
- [13] Lee TE, Yoo C, Kim YY. The effects of peripheral anterior synechiae on refractive outcomes after cataract surgery in eyes with primary angle-closure disease. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100(14): e24673.
- [14] Shah J, Vijaya L, Shantha B, et al. The effect of prior trabeculectomy on refractive outcomes of cataract surgery. *Am J Ophthalmol*, 2013, 156(5): 1070-1071.
- [15] Husain R, Li W, Gazzard G, et al. Longitudinal changes in anterior chamber depth and axial length in Asian subjects after trabeculectomy surgery. *Br J Ophthalmol*, 2013, 97(7): 852-856.
- [16] Senthil S, Deshmukh S, Turaga K, et al. Surgically induced astigmatism and refractive outcomes following phacotrabeculectomy. *Indian J Ophthalmol*, 2020, 68(4): 609-614.
- [17] Tzu JH, Shah CT, Galor A, et al. Refractive outcomes of combined cataract and glaucoma surgery. *J Glaucoma*, 2015, 24(2): 161-164.
- [18] Asano S, Koh TCV, Aquino MC, et al. Comparison of refractive outcomes after combined cataract and glaucoma surgery: trabeculectomy and glaucoma drainage device implantation. *J Cataract Refract Surg*, 2021, 47(9): 1133-1138.
- [19] Ong C, Nongpiur M, Peter L, et al. Combined Approach to Phacoemulsification and Trabeculectomy Results in Less Ideal Refractive Outcomes Compared With the Sequential Approach. *J Glaucoma*, 2016, 25(10): e873-e878.
- [20] Shin JH, Kim SH, Oh S, et al. Factors Associated with Refractive Prediction Error after Phacotrabeculectomy. *J Clin Med*, 2023, 12(17): 5706.
- [21] Bae HW, Lee YH, Kim DW, et al. Effect of trabeculectomy on the accuracy of intraocular lens calculations in patients with open-angle glaucoma. *Clin Exp Ophthalmol*, 2016, 44(6): 465-471.
- [22] Chung JK, Wi JM, Lee KB, et al. Long-term comparison of postoperative refractive outcomes between phacotrabeculectomy and phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg*, 2018, 44(8): 964-970.
- [23] Kang YS, Sung MS, Heo H, et al. Long-term outcomes of prediction error after combined phacoemulsification and trabeculectomy in glaucoma patients. *BMC Ophthalmol*, 2021, 21(1): 60.
- [24] Kaliaperumal S, Krishin K, Stephen M, et al. Effect of Phaco-trabeculectomy versus Phacoemulsification on Refractive Outcome - A Prospective Observational Study. *Rom J Ophthalmol*, 2025, 69(1): 83-87.
- [25] Popa-Cherecheanu A, Iancu RC, Schmetterer L, et al. Intraocular Pressure, Axial Length, and Refractive Changes after Phacoemulsification and Trabeculectomy for Open-Angle Glaucoma. *J Ophthalmol*, 2017, 2017: 1203269.
- [26] Lee YC, Su CC, Wang TH, et al. Refractive outcomes of cataract surgery in patients receiving trabeculectomy - a comparative study of combined and sequential approaches. *J Formos Med Assoc*, 2021, 120(1 Pt 2): 415-421.
- [27] Mehta R, Tomatzu S, Cao D, et al. Refractive Outcomes for Combined Phacoemulsification and Glaucoma Drainage Procedure. *Ophthalmol Ther*, 2022, 11(1): 311-320.
- [28] Li Y, Guo C, Huang C, et al. Development and Evaluation of the Prognostic Nomogram to Predict Refractive Error in Patients With Primary Angle-Closure Glaucoma Who Underwent Cataract Surgery Combined With Goniosynechialysis. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 749903.
- [29] Lin Y, Yin Y, Huang C, et al. Accuracy of new intraocular lens calculation formulas in primary angle closure glaucoma patients who underwent phacoemulsification combined with goniosynechialysis. *Int Ophthalmol*, 2024, 45(1): 2.
- [30] Sheybani A, Saboori M, Kim JM, et al. Effect of endoscopic cyclophotocoagulation on refractive outcomes when combined with cataract surgery. *Can J Ophthalmol*, 2015, 50(3): 197-201.
- [31] Wang JCC, Campos-Möller X, Shah M, et al. Effect of endocyclophotocoagulation on refractive outcomes in angle-closure eyes after phacoemulsification and posterior chamber intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 2016, 42(1): 132-137.
- [32] Kang S, Luk S, Han H, et al. Refractive outcome of combined phacoemulsification and endoscopic cyclophotocoagulation. *Int Ophthalmol*, 2017, 37(6): 1311-1317.
- [33] Azses-Halabe Y, Gamiiochipi-Arjona JE, Alvarez-Asencio D, et al. Refractive Outcomes of Cataract Surgery With or Without Endocyclophotocoagulation. *J Glaucoma*, 2021, 30(4): e180-e183.
- [34] Hammel N, Lusky M, Kaierman I, et al. Changes in anterior segment parameters after insertion of Ex-PRESS miniature glaucoma implant. *J Glaucoma*, 2013, 22(7): 565-568.
- [35] Tanito M, Matsuzaki Y, Ikeda Y, et al. Comparison of surgically induced astigmatism following different glaucoma operations. *Clin Ophthalmol*, 2017, 11: 2113-2120.
- [36] Konopińska J, Byszewska A, Saeed E, et al. Phacotrabeculectomy versus Phaco with Implantation of the Ex-PRESS Device: Surgical and Refractive Outcomes-A Randomized Controlled Trial. *J Clin Med*, 2021, 10(3): 424.
- [37] Bormann C, Busch C, Rehak M, et al. Refractive Changes after Glaucoma Surgery - A Comparison between Trabeculectomy and XEN Microstent Implantation. *Life (Basel)*, 2022, 12(11): 1889.
- [38] Tatti F, Tronci C, Lixi F, et al. No Changes in Keratometry Readings and Anterior Chamber Depth after XEN Gel Implantation in Patients with Glaucoma. *J Clin Med*, 2024, 13(9): 2537.
- [39] Ibarz Barberú M, Morales-Fernandez L, Gómez de Liaño R, et al. Changes to Corneal Topography and Biometrics After PRESERFLO Microshunt Surgery for Glaucoma. *J Glaucoma*, 2021, 30(10): 921-931.
- [40] Gambini G, Carlà MM, Giannuzzi F, et al. Early post-operative anterior segment parameters modifications induced by PreserFlo MicroShunt in primary open-angle glaucoma. *Int Ophthalmol*, 2023, 43(9): 3035-3044.
- [41] Hamazaki H, Kaiya R, Kaiya T, et al. A short-term comparison of surgical results between an ab-externo microshunt and trabeculectomy

with a main focus on postoperative corneal astigmatism. *Jpn J Ophthalmol*, 2024, 68(5): 562–570.

[42] Nakakura S, Oogi S, Terao E, et al. Changes in Ocular Biometry Following PreserFlo MicroShunt Implantation and Trabeculectomy: A Prospective Observational Study. *Cureus*, 2024, 16(3): e56188.

[43] Wagner FM, Schuster AK, Munder A, et al. Comparison of subconjunctival microinvasive glaucoma surgery and trabeculectomy. *Acta Ophthalmol*, 2022, 100(5): e1120–e1126.

[44] Scott RA, Ferguson TJ, Stephens JD, et al. Refractive outcomes after trabecular microbypass stent with cataract extraction in open-angle glaucoma. *Clin Ophthalmol*, 2019, 13: 1331–1340.

[45] Ioannidis AS, Töteberg-Harms M, Hamann T, et al. Refractive Outcomes After Trabecular Micro-Bypass Stents (iStent Inject) with Cataract Extraction in Open-Angle Glaucoma. *Clin Ophthalmol*, 2020, 14: 517–524.

[46] Shaheen A, Afflitto GG, Swaminathan SS. Refractive Outcomes Following Combined Cataract and Microinvasive Glaucoma Surgery. *Ophthalmol Glaucoma*, 2024, 7(6): 608–614.

[47] Luebke J, Boehringer D, Neuburger M, et al. Refractive and visual outcomes after combined cataract and trabectome surgery: a report on the possible influences of combining cataract and trabectome surgery

on refractive and visual outcomes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2015, 253(3): 419–423.

[48] Hirabayashi MT, McDaniel LM, An JA. Reversal of Toric Intraocular Lens-corrected Corneal Astigmatism after Kahook Dual Blade Goniotomy. *J Curr Glaucoma Pract*, 2019, 13(1): 42–44.

[49] Hirabayashi M, Viridi G, King J, et al. Effect of Excisional Goniotomy with the Kahook Dual Blade (KDB) on Surgically Induced Astigmatism. *Clin Ophthalmol*, 2020, 14: 4297–4303.

[50] Sieck EG, Capitena Young CE, Epstein RS, et al. Refractive outcomes among glaucoma patients undergoing phacoemulsification cataract extraction with and without Kahook Dual Blade goniotomy. *Eye Vis (Lond)*, 2019, 6: 28.

[51] Tekcan H, İmamoglu S, Mangan MS. Anterior Segment Changes and Refractive Outcomes after Cataract Surgery Combined with Gonioscopy – Assisted Transluminal Trabeculectomy in Open – Angle Glaucoma. *Turk J Ophthalmol*, 2023, 53(6): 369–376.

[52] Kazemzadeh K. Artificial intelligence in ophthalmology: opportunities, challenges, and ethical considerations. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*, 2025,14(1):255–272.

[53] Liu YH, Li LY, Liu SJ, et al. Artificial intelligence in the anterior segment of eye diseases. *Int J Ophthalmol*, 2024, 17(9): 1743–1751.