

# 保罗青光眼植入物治疗青光眼的初步观察

胡甜<sup>1,2</sup>, 陈志祺<sup>1</sup>, 张虹<sup>1</sup>

引用: 胡甜, 陈志祺, 张虹. 保罗青光眼植入物治疗青光眼的初步观察. 国际眼科杂志, 2024, 24(7): 1168-1172.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.82070965)

作者单位: <sup>1</sup>(430030) 中国湖北省武汉市, 华中科技大学同济医学院附属同济医院眼科; <sup>2</sup>(330000) 中国江西省南昌市, 江西省人民医院南昌医学院第一附属医院

作者简介: 胡甜, 博士, 住院医师, 研究方向: 青光眼。

通讯作者: 张虹, 博士, 主任医师, 教授, 博士研究生导师, 研究方向: 青光眼. tjksys@163.com

收稿日期: 2024-02-21 修回日期: 2024-06-03

## 摘要

**目的:** 初步评估保罗青光眼植入物在青光眼治疗中的有效性和安全性。

**方法:** 回顾性分析 2022-03/2023-01 接受保罗青光眼植入物治疗的青光眼患者 10 例 10 眼的临床资料。至少随访 12 mo, 观察手术前后视力、眼压和抗青光眼用药数量等指标的变化。

**结果:** 纳入患者末次随访时视力较术前无明显变化; 术前眼压 19-60 (中位数 28) mmHg, 末次随访时眼压为 10-18 (中位数 14) mmHg。术前所有患者均需使用 2-4 种抗青光眼药物, 末次随访时仅 1 例患者需使用。4 例患者末次随访时角膜内皮细胞密度较术前明显下降, 未发生角膜相关并发症。截至末次随访, 10 例患者均获得手术成功。

**结论:** 保罗青光眼植入物具有显著的降眼压疗效, 角膜内皮细胞损害可能是其存在的隐患。

**关键词:** 保罗青光眼植入物; 青光眼; 眼压; 手术疗效; 安全性

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2024.7.31

## Preliminary observation of PAUL glaucoma implant in glaucoma treatment

Hu Tian<sup>1,2</sup>, Chen Zhiqi<sup>1</sup>, Zhang Hong<sup>1</sup>

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (No.82070965)

<sup>1</sup>Department of Ophthalmology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, Hubei Province, China; <sup>2</sup>Jiangxi Provincial People's Hospital; the First Affiliated Hospital of Nanchang Medical College, Nanchang 330000, Jiangxi Province, China

**Correspondence to:** Zhang Hong. Department of Ophthalmology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, Hubei Province, China. tjksys@163.com

Received: 2024-02-21 Accepted: 2024-06-03

## Abstract

• **AIM:** To preliminarily assess the efficacy and safety of PAUL glaucoma implant in glaucoma management.

• **METHODS:** Clinical data of 10 glaucoma patients (10 eyes) who treated with Paul's glaucoma implant from March 2022 to January 2023 were retrospectively analyzed. A follow-up of 12 mo was performed to observe changes in visual acuity, intraocular pressure, and number of anti-glaucoma medications before and after surgery.

• **RESULTS:** Included patients had no significant change in visual acuity from preoperative to last follow-up; preoperative intraocular pressure was 19-60 (median 28) mmHg, and it was 10-18 (median 14) mmHg at last follow-up. All patients required two to four antiglaucoma medications preoperatively, and only 1 case needed medications at final follow-up. Four patients had a significant decrease in corneal endothelial cell density compared with the preoperative period, and no cornea-related complications occurred. At final follow-up, all 10 patients met surgical success criteria.

• **CONCLUSION:** PAUL glaucoma implant has significant IOP lowering efficacy and that corneal endothelial cell damage may be a pitfall of its presence.

• **KEYWORDS:** PAUL glaucoma implant; glaucoma; intraocular pressure; surgical outcomes; safety

**Citation:** Hu T, Chen ZQ, Zhang H. Preliminary observation of PAUL glaucoma implant in glaucoma treatment. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2024, 24(7): 1168-1172.

## 0 引言

青光眼是全球导致不可逆性失明的主要原因, 据估计, 由于预期寿命延长和人口老龄化, 2013-2040 年, 全球青光眼患者人数将增加 74%<sup>[1]</sup>。降低眼压是唯一被证实可以有效控制青光眼进展的方法。对于某些继发性青光眼和以往滤过手术失败的难治性青光眼患者, 青光眼引流装置 (glaucoma drainage devices, GDDs) 往往是控制眼压最有效的治疗方法之一<sup>[2]</sup>。近年来, GDDs 的使用逐渐增加, 不仅用于治疗难治性青光眼, 而且越来越多地被用作主要的手术干预措施<sup>[2-3]</sup>。然而, 早期眼压控制的不可预

测性、慢性角膜内皮细胞损伤以及引流管暴露等风险,导致植入物的使用受到限制<sup>[4]</sup>。最早用于治疗青光眼的GDDs之一是Molteno植入物<sup>[2]</sup>,于20世纪70年代引入,是第一个显示出合理治疗效果的GDDs。此后,通过改进装置的设计、尺寸和材料,出现了多种类型的GDDs。目前国际上常用的GDDs包括Ahmed青光眼引流阀(Ahmed glaucoma valve, AGV)和Baerveldt青光眼引流植入物(Baerveldt glaucoma implant, BGI)。AGV和BGI的对比研究表明后者的长期降眼压效果更好,但术后低眼压发生率更高<sup>[5]</sup>。为进一步提高GDDs的疗效和安全性,保罗青光眼植入物(PAUL glaucoma implant, PGI)被开发。PGI于2018年通过欧洲合格评定,已应用于临床并逐渐推广。2021-07,PGI开始在我国海南省博鳌乐城先行区进行使用。本研究通过小样本病例回顾性分析对PGI治疗中国青光眼患者的有效性和安全性进行初步探讨。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 选取2022-03/2023-01就诊于华中科技大学附属同济医院并接受PGI治疗的青光眼患者10例10眼。纳入标准:(1)接受了PGI治疗,均对手术方案知情同意并签署知情同意书;(2)术后随访时间不少于12 mo。排除手术前后临床资料不完整者。本研究得到了华中科技大学同济医学院附属同济医院医学伦理委员会批准(审批号:TJ-IRB20230208),临床实验注册号ChiCTR2300073856,符合《赫尔辛基宣言》的宗旨。

## 1.2 方法

**1.2.1 手术过程及术后管理** 术前准备包括清洁术眼结膜囊和使用毛果芸香碱滴眼液(5 mL:25 mg)点术眼(根据瞳孔收缩情况滴2-3次),若术眼眼压>40 mmHg可静脉滴注20%甘露醇注射液250 mL。手术过程:球周麻醉后,6-0缝线悬吊于上方角膜层间,牵拉眼球至下方,止血钳固定缝线;切开颞上方角膜缘结膜,钝性分离结膜下筋膜暴露合适范围,冲洗保罗引流管,在保罗引流管中预置6-0 prolene不可吸收缝合线(图1A);通过斜视钩找到两侧直肌并将引流盘固定在直肌下方,通常在颞上方距角膜缘约8-10 mm处,用7-0缝线将引流盘固定在巩膜上(图1B);使用25号针头在距离角膜缘约2 mm处经巩膜穿刺以平行于虹膜面方向进入前房,制作巩膜隧道(图1C);斜面向上修剪引流管长度使之在前房预留3 mm(图1D);将引流管前端经巩膜隧道植入前房(图1E),使之位于虹膜与角膜内皮之间;观察引流盘背面房水引流情况后(图1F),缝合结膜。手术均由我院同一术者完成,术中未使用抗代谢药物。术后管理:术眼停用青光眼治疗药物,局部使用左氧氟沙星滴眼液(0.5%)、妥布霉素地塞米松滴眼液(5 mL:妥布霉素15 mg和地塞米松5 mg)及玻璃酸钠滴眼液(0.1%)4 wk(均为每日4次,每次1滴),根据眼部恢复情况停止或延长用药时间。

**1.2.2 观察指标** 收集患者的临床资料,包括详细的病史和眼科检查结果,如最佳矫正视力(BCVA)、眼压、角膜内皮细胞密度、视野、眼底镜和裂隙灯检查结果等,以及

手术并发症、术后干预和手术有效性情况。

手术有效性评估标准<sup>[6]</sup>:根据末次随访时的眼部情况,按照手术完全成功、部分成功和失败评估手术的有效性。完全成功定义为在未使用抗青光眼药物的情况下,眼压 $\leq 18$  mmHg,并且较术前眼压下降 $\geq 20\%$ 。部分成功定义为在使用抗青光眼药物或进行了滤过泡分离的情况下,眼压 $\leq 18$  mmHg,并且较术前眼压下降 $\geq 20\%$ 。手术失败定义为视力丧失;持续性低眼压(连续两次复诊眼压 $\leq 5$  mmHg);用药情况下眼压 $>18$  mmHg或较术前眼压下降 $<20\%$ ;无论何种原因移除植入物或需要再次接受抗青光眼手术。

## 2 结果

**2.1 纳入患者临床情况** 纳入患者10例10眼,其中男6例,女4例,年龄27-65岁。5例患者诊断为原发性开角型青光眼(POAG),2例为新生血管性青光眼,2例为原发性闭角型青光眼(PACG,人工晶状体植入术后),1例为继发性开角型青光眼。纳入患者术前基本情况见表1。

**2.2 手术前后眼部情况** 纳入患者末次随访时BCVA均较术前无明显变化。术前眼压为19-60(中位数28) mmHg,末次随访时为10-18(中位数14) mmHg,平均下降50.2%。纳入患者术前均需使用降眼压药物治疗(中位数3种),末次随访时仅1例患者需要使用2种抗青光眼药物,其余9例患者无需使用。纳入患者中序号2、6、7、9患者末次随访时角膜内皮细胞密度均较术前明显下降,平均下降47.2%,见表2。

**2.3 手术情况** 纳入患者中,1例1眼患者术中发生前房出血,其余患者术中未发生明显并发症;3例3眼患者术后发生并发症,其中1例1眼发生滤过泡包裹、无菌性眼内炎和黄斑水肿,1例1眼发生前房积血和脉络膜脱离,1例1眼发生前房消失和眼球运动受限(无复视症状)。

术后6例6眼患者因眼压偏高于术后1 mo时拆除管内缝线,眼压下降5-11(平均6.3) mmHg,4例4眼患者因缝线暴露风险(图2)分别于术后3 mo(1例1眼)、6 mo(2例2眼)、12 mo(1例1眼)时予以拆除。序号2患者(临床诊断为POAG)术后1 mo时形成包裹型滤过泡,接受滤过泡分离治疗后眼压下降至正常,该患者滤过泡分离术后2 mo时发生无菌性眼内炎及黄斑水肿,予以局部抗炎药物治疗后恢复。序号4患者(临床诊断为新生血管性青光眼)术中发生前房出血,予以止血、促进积血吸收等对症治疗后积血完全吸收;术后6 mo时前房再次出现积血,予以抗炎、止血等对症治疗;术后12 mo时前房积血机化,眼部B超提示脉络膜轻度脱离,眼压10 mmHg,予以激素药物口服治疗,至今尚未复诊。序号6患者(临床诊断为PACG,人工晶状体植入状态)术后2 mo时发生前房消失,未使用药物情况下眼压为19 mmHg,予以前房成形手术治疗后前房深度恢复,该患者术后6 mo时出现眼球向上、颞上和颞侧运动受限,颞上方可见巨大滤过泡(图3),无复视症状,未予干预。截至末次随访,纳入患者均获得手术成功,其中8例患者符合完全成功标准,2例为部分成功。

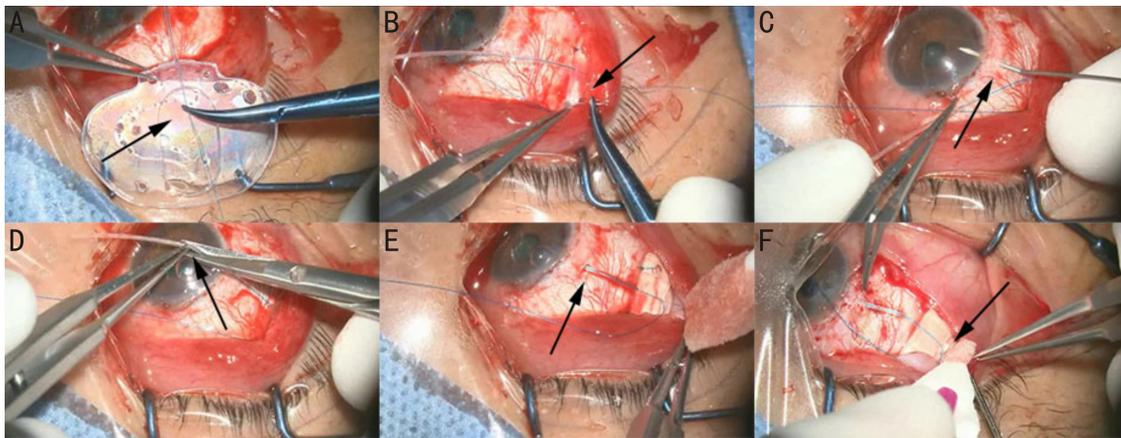


图1 PGI植入手术主要过程 A:将6-0 prolene不可吸收缝合线(箭头)预置在保罗引流管中;B:将引流盘固定于巩膜上(箭头);C:25号针头(箭头)经巩膜穿刺进入前房;D:斜形修剪引流管前端(箭头);E:将引流管前端经巩膜隧道(箭头)植入前房;F:观察引流盘背面(箭头)房水流出情况。



图2 同一患者眼前节照片 A:术后1 mo时;B:术后6 mo时可见管内缝线后退(红色箭头),结膜下缝线存在暴露风险(黑色箭头)。

表1 纳入患者基本信息

序号	性别	年龄(岁)	眼别	术眼青光眼类型	术眼既往手术史	C/D
1	女	43	左	POAG	黏小管成形术	1.0
2	女	27	左	POAG	小梁切除术	1.0
3	男	48	右	POAG	激光小梁成形术	0.9
4	男	48	右	新生血管性青光眼	(外伤性)白内障手术	-
5	男	52	左	POAG	小梁切除术	0.8
6	女	55	左	PACG	小梁切除术、白内障手术+房角分离术、房角分离术	0.8
7	男	36	右	POAG	小梁切除术2次	0.9
8	女	45	右	新生血管性青光眼	引流钉植入术、小梁切除术、滤过泡分离3次	0.9
9	男	51	右	继发性开角型青光眼	玻璃体切除+注油、白内障手术+取油、小梁切除术、滤过泡分离术	0.6
10	男	65	左	PACG	小梁切除术、白内障手术	0.8

注:C/D表示杯盘比。

表2 纳入患者手术前后眼部情况

序号	术前					末次随访				
	BCVA	眼压 (mmHg)	抗青光眼 药物(种)	角膜内皮细胞 密度( $\text{cell}/\text{mm}^2$ )	MD(dB)	BCVA	眼压 (mmHg)	抗青光眼 药物(种)	角膜内皮细胞 密度( $\text{cell}/\text{mm}^2$ )	MD(dB)
1	HM/20 cm	59	2	3157		HM/10 cm	13	0	3326	
2	0.02	32	4	2376		0.04	16	0	1294	
3	FC/5 cm	32	4	2219		0.04	13	0	2253	
4	HM/40 cm	>60	2	-		HM/眼前	10	0	-	
5	0.03	24	3	2312		0.05	14	0	2403	
6	0.8	24	3	2529	-25.25	0.8	14	2	1288	-23.55
7	1.0	19	3	2045	-28.57	1.0	15	0	1248	-27.06
8	Lp(+)	25	3	1385		Lp(+)	16	0	1262	
9	0.5	28	3	2615	-14.32	0.8	18	0	1171	-16.83
10	0.8	27	2	1754	-25.85	0.8	12	0	1535	-27.80

注:HM表示手动;FC表示指数;Lp表示光感;MD表示视野平均缺损值。

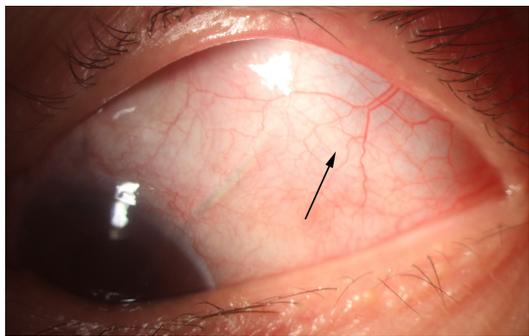


图3 颞上方巨大滤过泡(黑色箭头)。

### 3 讨论

GDDs 通常由引流管和引流盘组成,房水通过引流管从前房分流至引流盘内,随后被周围血管吸收<sup>[7]</sup>。与小梁切除术相比,GDDs 的疗效范围更广,甚至对有较高失败风险的患者也有一定的治疗效果。一项多中心临床研究表明,对于难治性青光眼患者,BGI 的手术失败率和再次手术率均显著低于小梁切除术,且 BGI 术后并发症发生率更低<sup>[8]</sup>。对于初次进行抗青光眼手术的患者,BGI 的手术疗效亦不亚于小梁切除术<sup>[9-10]</sup>。这打破了 GDDs 只适用于治疗复杂或难治性青光眼的普遍观念,促进了 GDDs 的广泛应用<sup>[11-12]</sup>。

AGV 和 BGI 是目前使用最多的两种青光眼引流装置。研究表明,AGV 的降眼压效果不如无阀门设计的 BGI,但 BGI 比 AGV 更易发生低眼压相关并发症<sup>[13-14]</sup>。在 AGV 和 BGI 的设计基础上,PGI 的结构更为完善。与 BGI 相同,PGI 为无阀门装置,可更大程度引流房水。PGI 的管内径(0.127 mm)更细,约为 AGV(0.3 mm)和 BGI(0.305 mm)的 1/3。根据 Poiseuille 定律,管腔直径是流量调节中最重要的参数之一,较小的管内径增加了房水流出阻力,理论上降低了术后低眼压的风险。此外,PGI 的引流盘面积(342 mm<sup>2</sup>)较 AGV(184 mm<sup>2</sup>)大,虽略小于 BGI(350 mm<sup>2</sup>),但 PGI 的宽度更窄,被直肌覆盖的面积更少,引流盘向后延伸更远,理论上 PGI 的有效滤过面积可能大于 BGI。较大的滤过面积有利于房水引流,也可降低包裹型滤过泡形成的风险。再者,PGI 的引流盘厚度(0.4 mm)较 BGI(0.9 mm)和 AGV(2.1 mm)更薄,可降低滤过泡高度并减少并发症发生风险<sup>[15]</sup>。

国外多项临床研究表明 PGI 在降低眼压和青光眼药物使用数量方面有显著效果。Vallabh 等<sup>[16]</sup>分析了 97 例青光眼患者接受 PGI 植入术后 6 mo 的随访结果,术后眼压降至 13.6 mmHg,较术前平均下降了 51.6%,抗青光眼药物使用数量减少了 2.4 种,90.1% 的患者获得手术成功,38.4% 的患者为手术完全成功。Koh 等<sup>[17]</sup>采用多中心前瞻性研究方法,随访了 74 例接受 PGI 植入的难治性青光眼患者,术后 1 a 时眼压较术前下降 42.9%,抗青光眼药物由术前 3.3 种降至 0.3 种,手术成功率达 85.1%,完全成功率为 60.8%。对于儿童青光眼患者,PGI 也具有较好的治疗效果。一项回顾性研究纳入了 25 例儿童青光眼患者,年龄为 8 月龄-16 岁,PGI 植入术后 1 a 时眼压和抗青光眼药物数量均显著下降,84% 的患者获得手术成功<sup>[18]</sup>。

本研究纳入的 10 例患者术前均需使用抗青光眼药物,9 例患者眼压仍控制不佳,1 例患者眼压虽小于 21 mmHg,但视野缺损有进展趋势,PGI 植入术后,所有患者眼压均  $\leq 18$  mmHg,除 1 例患者需药物治疗外,其余患者均无需使用降眼压药物。

目前已有研究表明,PGI 不仅可以有效降低眼压,且术后低眼压发生率较低。管内阻塞是预防术后早期低眼压的有效方法<sup>[6,19]</sup>。根据引流植入物的流体动力学研究<sup>[20]</sup>,10 mm 长度的 PGI 引流管在预置缝线时可以产生 13 mmHg 的压力,未预置缝线时约 6 mmHg。Tan 等<sup>[21]</sup>在 PGI 术中未使用缝线结扎或管内预置缝合线等限流技术,术后 2 a 时,8.9% 的患者发生需要干预的低眼压并发症。尽管未预置缝合线,与 Christakis 等<sup>[22]</sup>研究结果相比,PGI 术后发生需要干预的低眼压并发症概率仍低于 AGV(11%)和 BGI(13%)。José 等<sup>[23]</sup>在 PGI 术中使用了缝线结扎限制房水外流,术后 1 a 时未发生需要干预的低眼压并发症。本研究所有患者术中均使用了 6-0 prolene 缝线预置在引流管中,随访期间未观察到需要干预的低眼压并发症。

PGI 术后可在裂隙灯下拆除管内缝线,以进一步调整眼压。Vallabh 等<sup>[16]</sup>研究中 56.6% 的患者在术后 2-12 mo 时取出缝线,眼压平均下降 6.2 mmHg。Rusmayani 等<sup>[24]</sup>研究中 77% 的患者于术后 3 wk 时拆除缝线。有研究者认为当术后早期眼压升高时,可先使用碳酸酐酶抑制剂滴眼液治疗,待手术 2 mo 后再拆除管内缝线以避免发生早期低眼压并发症<sup>[25]</sup>。本研究倾向于不增加患者的用药数量,故拆除缝线时间较早。

PGI 术后并发症主要包括自限性浅前房、需要干预的低眼压、脉络膜脱离、斜视/复视、引流管堵塞和引流管暴露等<sup>[17,21,23]</sup>。本研究中未观察到需要干预的低眼压、引流管堵塞或暴露并发症。序号 6 患者术后 2 mo 时出现前房消失,眼压波动在 19 mmHg 左右。患者既往有恶性青光眼病史,考虑因患者自行停用扩瞳药物导致再次发生前房消失,予以前房成形手术治疗后前房深度恢复。该患者术后出现眼球运动受限,除了考虑引流盘对眼直肌造成的影响,患者颞上方的巨大滤过泡也可能造成眼球运动受限。

角膜内皮细胞损害是 GDDs 的一个潜在长期并发症<sup>[26-28]</sup>。与 AGV(0.63 mm)或 BGI(0.635 mm)相比,PGI 的管外径(0.467 mm)更细。这使得引流管在巩膜表面突出的轮廓更低,理论上减少了结膜腐蚀和管周渗漏的风险,同时也减少了角膜内皮接触和损伤的风险<sup>[29-31]</sup>。然而,本研究中仍有 4 例患者出现角膜内皮细胞密度明显下降,其中 2 例患者术后发生了前房相关并发症,这可能造成了角膜内皮细胞的损害。角膜内皮细胞损害程度与引流管的位置有关<sup>[32]</sup>。相较于植入前房,将引流管植入睫状沟中对角膜内皮细胞的影响更小<sup>[33-35]</sup>。本研究所有患者的引流管均置于前房,可能增加了角膜内皮细胞损害的风险。

PGI 是一种新型青光眼引流装置,与目前可用的其他引流装置相比,具有一些潜在的设计优势。本研究结果表

明,PGI可以显著降低青光眼患者的眼压和抗青光眼用药数量,为青光眼的治疗提供新的选择,但角膜内皮细胞损害可能是PGI存在的隐患,需予以重视及进一步观察。然而,本研究也存在一些不足之处:(1)病例数量有限,PGI在青光眼治疗中的有效性和安全性需更多病例以进一步探讨;(2)本研究为非对照性研究,PGI与小梁切除术或其他引流装置的比较需进一步研究。

#### 参考文献

[1] Tham YC, Li X, Wong TY, et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040; a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*, 2014,121(11):2081-2090.

[2] Agrawal P, Bhardwaj P. Glaucoma drainage implants. *Int J Ophthalmol*, 2020,13(8):1318-1328.

[3] Vinod K, Gedde SJ, Feuer WJ, et al. Practice preferences for glaucoma surgery: a survey of the American glaucoma society. *J Glaucoma*, 2017,26(8):687-693.

[4] Arora KS, Robin AL, Corcoran KJ, et al. Use of various glaucoma surgeries and procedures in medicare beneficiaries from 1994 to 2012. *Ophthalmology*, 2015,122(8):1615-1624.

[5] Christakis PG, Kalenak JW, Tsai JC, et al. The Ahmed versus baerveldt study: five-year treatment outcomes. *Ophthalmology*, 2016,123(10):2093-2102.

[6] Abd Elfattah D, Wagdy F, Mokbel T, et al. Intraluminal stenting versus external ligation of Ahmed glaucoma valve in prevention of postoperative hypotony. *Int J Ophthalmol*, 2021,14(10):1560-1564.

[7] Khodeiry M, Sayed MS. New glaucoma drainage implants available to glaucoma surgeons. *Curr Opin Ophthalmol*, 2023,34(2):176-180.

[8] Gedde SJ, Schiffman JC, Feuer WJ, et al. Treatment outcomes in the Tube Versus Trabeculectomy (TVT) study after five years of follow-up. *Am J Ophthalmol*, 2012,153(5):789-803.e2.

[9] Gedde SJ, Feuer WJ, Lim KS, et al. Treatment outcomes in the primary tube versus trabeculectomy study after 5 years of follow-up. *Ophthalmology*, 2022,129(12):1344-1356.

[10] Gedde SJ, Feuer WJ, Lim KS, et al. Postoperative complications in the primary tube versus trabeculectomy study during 5 years of follow-up. *Ophthalmology*, 2022,129(12):1357-1367.

[11] Mercieca K. Comparison of glaucoma drainage implants. *Ophthalmologie*, 2023,120(4):372-377.

[12] Wong YL, Walkden A, Mercieca K. Surgical advancement in glaucoma during the past 10 years. *Ophthalmologie*, 2022,119(Suppl 2):140-146.

[13] Budenz DL, Barton K, Gedde SJ, et al. Five-year treatment outcomes in the Ahmed baerveldt comparison study. *Ophthalmology*, 2015,122(2):308-316.

[14] Christakis PG, Zhang DY, Budenz DL, et al. Five-year pooled data analysis of the Ahmed baerveldt comparison study and the Ahmed versus baerveldt study. *Am J Ophthalmol*, 2017,176:118-126.

[15] Tan MCJ, Ong CW, Aquino MC, et al. Three year outcomes of the Paul glaucoma implant for treatment of glaucoma. *J Glaucoma*, 2024 [Epub ahead of print].

[16] Vallabh NA, Mason F, Yu JTS, et al. Surgical technique, perioperative management and early outcome data of the PAUL® glaucoma drainage device. *Eye*, 2022,36(10):1905-1910.

[17] Koh V, Chew P, Triolo G, et al. Treatment outcomes using the PAUL glaucoma implant to control intraocular pressure in eyes with

refractory glaucoma. *Ophthalmol Glaucoma*, 2020,3(5):350-359.

[18] Vallabh NA, Mohindra R, Drysdale E, et al. The PAUL® glaucoma implant: 1-year results of a novel glaucoma drainage device in a paediatric cohort. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2023,261(8):2351-2358.

[19] Vergados A, Mohite AA, Sung VCT. Ab interno tube ligation for refractory hypotony following non-valved glaucoma drainage device implantation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2019,257(10):2271-2278.

[20] Han JC, Hwang YH, Ahn BH. Fluid dynamics of small diameter tubes used in membrane-tube type glaucoma shunt devices. *Korean J Ophthalmol*, 2019,33(4):371-378.

[21] Tan MCJ, Choy HYC, Koh Teck Chang V, et al. Two-year outcomes of the Paul glaucoma implant for treatment of glaucoma. *J Glaucoma*, 2022,31(6):449-455.

[22] Christakis PG, Tsai JC, Kalenak JW, et al. The Ahmed versus Baerveldt study: three-year treatment outcomes. *Ophthalmology*, 2013,120(11):2232-2240.

[23] José P, Barão RC, Teixeira FJ, et al. One-year efficacy and safety of the PAUL glaucoma implant using a standardized surgical protocol. *J Glaucoma*, 2022,31(3):201-205.

[24] Rusmayani E, Viona V, Soebijantoro I, et al. Early experience with the novel glaucoma shunt device: Paul glaucoma implant in the Indonesian populations. *Int J Ophthalmol*, 2023,23(10):1603-1608.

[25] Weber C, Hundertmark S, Brinken R, et al. First clinical results with the PAUL® Glaucoma Implant at the University Eye Hospital Bonn. *Ophthalmologie*, 2022,119(12):1267-1274.

[26] Realini T, Gupta PK, Radcliffe NM, et al. The effects of glaucoma and glaucoma therapies on corneal endothelial cell density. *J Glaucoma*, 2021,30(3):209-218.

[27] Obuchowska I, Konopińska J. Corneal endothelial cell loss in patients after minimally invasive glaucoma surgery: current perspectives. *Clin Ophthalmol*, 2022,16:1589-1600.

[28] Hau S, Bunce C, Barton K. Corneal endothelial cell loss after baerveldt glaucoma implant surgery. *Ophthalmol Glaucoma*, 2021,4(1):20-31.

[29] Chaku M, Netland PA, Ishida K, et al. Risk factors for tube exposure as a late complication of glaucoma drainage implant surgery. *Clin Ophthalmol*, 2016,10:547-553.

[30] Kim KN, Lee SB, Lee YH, et al. Changes in corneal endothelial cell density and the cumulative risk of corneal decompensation after Ahmed glaucoma valve implantation. *Br J Ophthalmol*, 2016,100(7):933-938.

[31] Kugu S, Erdogan G, Sevim MS, et al. Efficacy of long scleral tunnel technique in preventing Ahmed glaucoma valve tube exposure through conjunctiva. *Semin Ophthalmol*, 2015,30(1):1-5.

[32] Kim Y, Cho WJ, Kim JD, et al. Tube-iris distance and corneal endothelial cell damage following Ahmed glaucoma valve implantation. *J Clin Med*, 2022,11(17):5057.

[33] Komatsu K, Harada Y, Hiyama T, et al. Corneal endothelial cell loss after ciliary sulcus placement of Ahmed glaucoma valve in patients with noninfectious uveitic glaucoma. *J Pers Med*, 2022,12(12):2075.

[34] 邓秋琼. Ahmed 青光眼引流阀睫状沟植入治疗人工晶状体青光眼. *国际眼科杂志*, 2023,23(9):1578-1580.

[35] Godinho G, Barbosa-Breda J, Oliveira-Ferreira C, et al. Anterior chamber versus ciliary sulcus Ahmed glaucoma valve tube placement: longitudinal evaluation of corneal endothelial cell profiles. *J Glaucoma*, 2021,30(2):170-174.