

## 青光眼手术的微创时代

周吉超 综述 张纯 审校

100191 北京,北京大学第三医院眼科 视觉损伤与修复教育部重点实验室

通信作者:张纯,Email:zhangcl@yahoo.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2016.11.020

**【摘要】** 眼压越高,视神经损伤的可能性越大,降低眼压对于延缓青光眼进程具有重要的意义。目前,青光眼治疗的策略主要是降低眼压,而手术是能达到降低眼压目的的重要手段。临床广泛应用的经典术式为联合丝裂霉素 C 的小梁切除术,降眼压效果明确,但可能存在严重并发症,这促使眼科医师致力于寻求创伤更小的降眼压术式。微创性青光眼手术(MIGS)技术发展日新月异,经内路操作包括准分子激光小梁切开术、iStent 植入术、小梁消融术、Cypass 支架植入术和 Hydrus Schlemm 管支架植入术等。经外路操作的术式包括黏小管成形术,此外还有经非传统途径的 Solx 金质分流器植入术等。该文根据操作方式的不同,综述新近出现的 MIGS 方式,提示广大读者青光眼微创时代已经到来。

**【关键词】** 青光眼; 微创性青光眼手术; 激光治疗; 眼压

**The era of minimally invasive glaucoma surgery** Zhou Jichao, Zhang Chun

Department of Ophthalmology, Peking University Third Hospital, Key Laboratory of Vision Loss and Restoration, Ministry of Education, Beijing 100191, China

Corresponding author: Zhang Chun, zhangcl@yahoo.com

**【Abstract】** The chance of glaucomatous optic nerve injury increases with the intraocular pressure. Reducing the intraocular pressure has an important significance for slowing the process of glaucoma. Surgery is one of the most important means to lower the intraocular pressure. With the classic operation of the joint of mitomycin C trabeculectomy, the intraocular pressure reduce, but serious complications may occur, which prompts ophthalmologists to seek less traumatic effects in the operation. The minimally invasive glaucoma surgery (MIGS) develop rapidly recently, and these technologies include the ab internal operations, such as excimer laser trabeculotomy, iStent implantation, trabectome, Cypass stent implantation, Hydrus Schlemm canal stent implantation, etc. The ab external operations, such as canaloplasty and via non-traditional ways operations, such as Solx gold shunt implantation, etc. According to the different methods of operation, this paper reviewed the latest MIGS.

**【Key words】** Glaucoma; Minimally invasive glaucoma surgery; Laser treatment; Intraocular pressure

多中心研究证实,眼压越高,视神经损伤的可能性越大,降低眼压对于延缓青光眼进程具有重要的意义<sup>[1]</sup>。目前,青光眼治疗的策略主要是降低眼压。降眼压措施主要包括药物、激光和手术。药物治疗和激光治疗有其自身局限性。手术治疗方面,目前临床广泛应用的经典术式为联合丝裂霉素 C (mytomycin C, MMC) 的小梁切除术,降眼压效果明确,但术中和术后可能存在严重并发症,这促使眼科医师致力于寻求创伤更小的降眼压术式。微创性青光眼手术 (minimally invasive glaucoma surgery, MIGS) 包括一系列内引流植入物,如 iStent、Cypass、Hydrus 和 Solx 金质分流器等。该技术可使房水或者经 Schlemm 管排入集液管和房水静脉引流,或经过脉络膜上腔引流来加强传统的生理流出通道,减少潜在损伤。本文根据操作方式不同,综述新近出现的 MIGS 方式,提示广大读者青光眼微

创时代已经到来。

### 1 经内路操作

#### 1.1 准分子激光小梁切开术

准分子激光小梁切开术 (excimer laser trabeculotomy, ELT) (图 1,2) 是利用波长 308 nm 的氯化氙 (XeCl) 准分子激光将小梁网上消融出数个微孔开口,将房水直接引流至 Schlemm 管。相关的实验研究发现,术后组织修复过程中未产生明显瘢痕组织,激光孔道不会闭锁,提示 ELT 的降压机制是通过激光击射小梁网,使孔道持续开放,降低房水外流的阻力<sup>[2]</sup>。

ELT 可单独或者联合白内障手术实施。单纯 ELT 治疗术前眼压高于 22 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa) 的原发性开角型青光眼 (primary open angle glaucoma, POAG) 成功率为 57%,术前

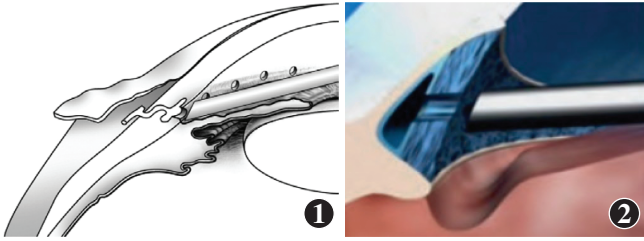


图 1 ELT 模式图 ELT 操作模式 (Brian A. Francis, MD) 图 2 ELT 示意图 (Michael S. Berlin, MD) 准分子激光手柄探头对准小梁网击射

眼压低于等于 22 mmHg 患者的成功率为 41%，而 ELT 联合白内障手术组成功率分别为 91% 和 52%，中度眼压升高时，合并白内障手术效果最好<sup>[3-4]</sup>。超声乳化联合 ELT 可降低眼压达  $(8.79 \pm 5.28) \text{ mmHg}$  ( $-34.70\%$ ,  $P < 0.001$ )，同时减少降眼压药物应用  $0.79 \pm 1.50$  ( $-62.70\%$ ,  $P = 0.017$ )，而手术时间仅延长 2~3 min，且 ELT 术后降眼压的效果恒定，不随时间推移而改变<sup>[5-6]</sup>。术后观察 24 个月，ELT 和选择性激光小梁成形术 (selective laser trabeculoplasty, SLT) 对药物难治性 POAG 均有效，手术成功率相似，降压幅度相似；与氩激光小梁成形术 (argon laser trabeculoplasty, ALT) 和 SLT 相比，ELT 的降压效果持久<sup>[7]</sup>。

ELT 的优点还体现在手术时间短，无需进行球后麻醉，不损伤结膜，为小梁切除术留有余地。从透明角膜进入前房，切口小，对眼内组织干扰少，术中眼球密闭，不会出现眼压骤然下降而产生脉络膜脱离、驱逐性脉络膜出血。ELT 还可重复进行，可以在滤过性手术失败的患眼上进行手术，ELT 不能控制眼压的患眼还可考虑加用药物治疗或滤过性手术。

### 1.2 iStent 植入术

iStent 是肝素包被的非磁性钛支架，将其通过小梁网植入到 Schlemm 管，使房水从前房直接流入 Schlemm 管而降低眼压 (图 3)。第 1 代 iStent 于 2007 年问世，2012 年经美国 FDA 认证，约  $1.0 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm}$ ，是目前体积最小的人体内植入物 (图 4)；第 2 代 iStent (iStent inject) 呈圆锥形推注式 (图 5)；第 3 代 iStent (iStent supra) 由肝素包被聚醚砜和钛合金材料制成，通过内路植入脉络膜上腔，目前仍无该术式的效果报道 (图 6)。

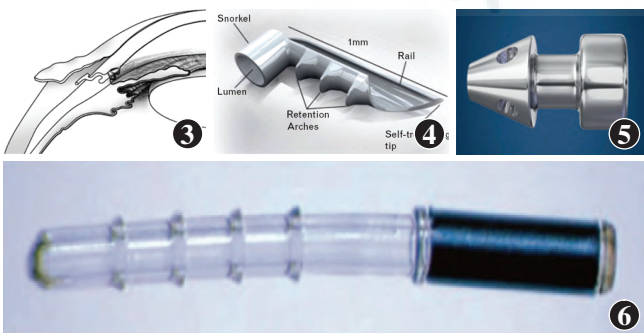


图 3 iStent 植入术模式图 图 4 第一代 iStent 图 5 第二代 iStent 图 6 第三代 iStent

iStent 通过植入器内路植入，将其插入鼻侧房角的小梁网，固定于 Schlemm 管内，开口于 Schlemm 管外壁，见到 Schlemm

管有出血反流入前房是 iStent 植入成功的重要标志，也可以借助超声生物显微镜 (ultrasound biomicroscope, UBM) 确认定位。研究显示，在房角结构观察不清的情况下，UBM 在定位 iStent 方面的性能远高于眼前节 OCT 和 B 型超声<sup>[8]</sup>。

iStent 植入术适用于靶眼压在 16~19 mmHg 的开角型青光眼患者。术前有结膜瘢痕，术后易出现低眼压和感染风险的患者也适用于此方式。在安全性和有效性方面，最近美国开展的一项针对 POAG 29 个中心参与的前瞻性随机对照临床试验显示，白内障联合单个 iStent 支架植入在术后 24 个月，能在不用降眼压药物的情况下很好地控制眼压，术后 12 个月和 24 个月眼压稳定在  $(17.0 \pm 2.8) \text{ mmHg}$  和  $(17.1 \pm 4.7) \text{ mmHg}$ ，且不良事件发生率很低，安全性良好<sup>[9-10]</sup>。一项对剥脱综合征、色素性青光眼、创伤性青光眼、类固醇性青光眼等继发性开角型青光眼的安全性和有效性试验表明，iStent 是安全和有效的，且能减少降眼压药物的用量，与房水动力学的临床研究结论一致<sup>[11-12]</sup>。与单纯白内障摘出手术比较，白内障摘出联合 iStent 植入能显著增加小梁流出系数，降低眼压，并减少降眼压药的种类<sup>[13]</sup>。

iStent 植入术可以保存完整的结膜，也可以与白内障摘出术相结合，但通道受限于支架的大小，且由于支架体积小，增加了手术操作的难度和微支架脱落的风险。此外，iStent 是一种永久植入物，难以取出。iStent 相关的不良事件报道目前仍较少，包括眼压升高、引流管堵塞和引流管异位。iStent 异位在黏弹剂移除后并不一定会导致 Schlemm 管血液倒流和失效。一项加拿大安大略省的研究显示，与使用 1、2 和 3 种降眼压药物相比，6 年内 iStent 治疗可累计节省 20.77、1272.55 和 2124.71 美元，但这仅是直接成本核算，间接成本及患者生活质量评估将有助于进一步揭示这项治疗措施在青光眼治疗模式中的作用<sup>[14]</sup>。

### 1.3 小梁消融术

小梁消融术 (Trabectome) 利用高频电流产生的电火花烧蚀小梁网和 Schlemm 管内壁，从而消除了房水外流的主要阻力，达到降眼压的目的。该系统包括具有灌注和抽吸功能的操控台、1 个电弧发生器及与两者相连的一次性手柄 (19.5 G)。在黏弹剂的辅助下，将手柄尖头穿透小梁网，插入 Schlemm 管，以角膜切口为支点沿顺时针和逆时针方向各摆动  $15^\circ \sim 45^\circ$  烧灼小梁网 (图 7, 8)。Minckler 等<sup>[15]</sup> 在 2005 年首先报道 Trabectome 的病例系列研究，并通过多个大样本临床研究证实了 Trabectome 的安全性。Trabectome 的降眼压幅度报道不一，为 28.7%~40.0%<sup>[15-17]</sup>；其与白内障超声乳化术 (phacoemulsification,

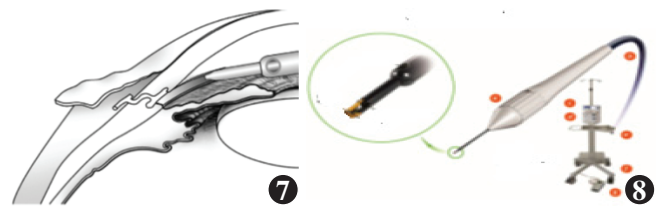


图 7 Trabectome 模式图 (Brian A. Francis, MD) 图 8 Trabectome 操作模式 (Neomedix Inc., Tustin, California, USA)

PHACO)联合治疗 POAG,降眼压效果更好,降眼压药的用量可减少 50%<sup>[18-19]</sup>。

Trabectome 适于目标眼压为 14 ~ 16 mmHg 的 POAG 患者。既往接受小梁成形术或小梁切除术失败的患者再行 Trabectome 并不会影响 Trabectome 的降眼压效果;即使先接受 Trabectome 失败也并不影响后续小梁切除术的成功率<sup>[20]</sup>。Trabectome 失败的原因可能是已经消融的小梁网裂隙重新闭合。Nd:YAG 激光房角击孔能重新拉开裂隙,使眼压回复至正常水平<sup>[21]</sup>。

与房角切开或者小梁成形术不同,Trabectome 烧灼小梁组织碎片并将其吸除,减少了引起炎症反应和瘢痕化的几率。Trabectome 既不损伤结膜,也不影响后续与结膜相关的手术操作,且无滤过泡形成,还能与白内障手术良好地匹配。

该术式难点在于学习曲线较长,尤其是对于不熟悉颞侧操作和需要变换头位方向的医师。对窄房角、虹膜前粘连、小梁网色素少甚至没有的患者行此手术将是巨大的挑战。安大略省卫生经济研究显示,与使用 1、2 和 3 种降眼压药物相比,6 年内每例患者 Trabectome 治疗可累计节省 279.23、1 572.55 和 2 424.71 美元<sup>[14]</sup>。

#### 1.4 Cypass 支架植入术

Cypass 支架 (Transcend Medical, Menlo park, CA, USA)。CyPass 是一种由聚酰胺材料制成的青光眼支架,长 6.35 mm,内径为 300 μm,外径为 510 μm,通过植入器经内路方式植入脉络膜上腔,人为制作微型睫状体分离,使房水避开小梁网,流入睫状体和脉络膜上腔 (图 9, 10)。CyPass 已经欧洲统一 (CONFORMITE EUROPEENNE, CE) 认证。

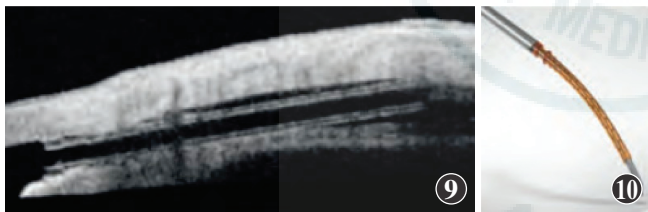


图 9 OCT 探查到的在体 Cypass (Hady Saheb & Iqbal Ike K. Ahmed) 图 10 Cypass Transcend Medical 模式图 (Menlo Park, California, USA)

目前单独应用 CyPass 治疗青光眼的研究较少,多数与白内障超声乳化联合治疗。一项多中心前瞻性研究发现, Cypass 植入联合 PHACO 治疗开角型青光眼手术的并发症发生率很低,常见并发症为早期一过性低眼压和短暂的眼压上升,分别占 13.8% 和 10.5%<sup>[22]</sup>。另一项超过 24 个月的多中心研究表明, Cypass 联合白内障超声乳化术后眼压平均降低了 37%, 用药从基线的 2.2 种降至 1.0 种,证明其有效性<sup>[23]</sup>。

#### 1.5 Hydrus Schlemm 管支架植入术

Hydrus Schlemm 管支架又称小管内支架,是由镍钛诺合金制成的支撑 Schlemm 管的装置,长 8 mm,其上有 3 个开口向后的窗口,该装置通过特制的手动植入器植入小梁网,不会对巩膜或者结膜组织产生任何干扰 (图 11, 12)。

Hydrus 管在眼部有良好的生物相容性。研究发现, Hydrus 支架可作为减少房水外流阻力,降低眼压的选择,更适合于房



图 11 Hydrus 支架 (Ivantis Inc., Irvine, California, USA) 图 12 Hydrus 支架植入 Schlemm 管 (Hady Saheb & Iqbal Ike K. Ahmed)

水外流阻力较高的患者<sup>[24]</sup>。Hydrus 管能将房水流出率增加 92%。轻度至中度开角型青光眼行白内障超声乳化联合 Hydrus 管植入后,6 个月后基线眼压由 (17.9±4.1) mmHg [药物洗脱后 (29.9±5.8) mmHg] 降至 (15.3±2.3) mmHg,降眼压药物数量由 (2.4±1.0) 种降至 (0.1±0.4) 种。术后不良反应包括结膜下出血、前房积血和周边虹膜前粘连。

## 2 经外路操作

黏小管成形术 (canaloplasty) 由黏弹剂辅助的黏小管切开术 (viscocanalostomy) 演变而来,2007 年由 Lewis 首先报道。它应用 iTrackTM 250A 软导管穿入 Schlemm 管,扩张管壁,增加房水内引流 (图 13, 14)。该术式的原理已经通过活体激光扫描共焦显微镜研究球结膜上皮特征的方法得到了印证<sup>[25]</sup>。手术过程为先制作类似于非穿透性小梁切除术的巩膜瓣,深层的巩膜瓣下探查 Schlemm 管,软导管在探照灯的指引下插入,同时在另一端 Schlemm 管口注入黏弹剂,软导管围绕 Schlemm 管旋转 360°,导出末端的 10-0 聚丙烯缝线,缝线两端向相反的方向拉绕,然后拉紧 Schlemm 管固定。

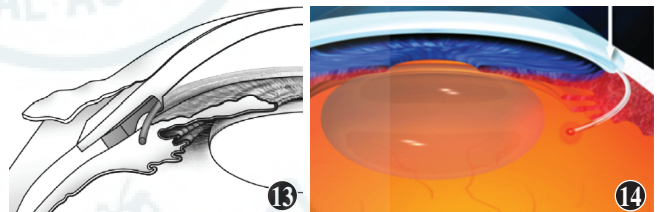


图 13 Canaloplasty 模式图 (Brian A. Francis, MD) 图 14 Canaloplasty 操作示意图 (iScience Interventional, Menlo Park, Calif., USA)

单纯 canaloplasty 降眼压效果明显,术后随访 12 个月眼压降至 (15.3±3.8) mmHg,为期 3 年的国际多中心前瞻性研究显示降眼压幅度达 36.1%,成功置线率达 84.7%。研究证明, Canaloplasty 联合 MMC 应用安全、有效<sup>[26]</sup>。Canaloplasty 与白内障超声乳化的结合已得到迅速普及。研究显示,与单独 canaloplasty 手术相比,联合手术并不增加降低眼压的效果,但目前多数研究认为两者联合更能减少青光眼药物用量,提高青光眼术后生存率,是安全、有效的手术方法<sup>[27-29]</sup>。

与小梁切除术相比, canaloplasty 能显著减少随访次数,并发病和术后再干预的几率显著减少<sup>[30]</sup>。卫生经济学研究提示,小梁切除术需较长的住院治疗,具有较高的再入院率,需要更频繁的术后干预,经济成本和时间成本更高<sup>[31]</sup>。更有研究指出,在小梁切除术失败而 Schlemm 管仍然完整的情况下,还

可以再行 canaloplasty<sup>[32]</sup>。研究发现,与 viscocanalostomy 相比,canaloplasty 降眼压幅度更大<sup>[33]</sup>。Canaloplasty 还可以改善后续 SLT 降低眼压的效果<sup>[34]</sup>。

Canaloplasty 的先决条件是远端流出系统的完整性良好,可通过前房角镜激发试验检查血液返流和 Schlemm 管荧光素造影进行术前评估<sup>[35]</sup>。Canaloplasty 适用于开角型青光眼,在白内障合并闭角型青光眼的患者中也可以实施。相对禁忌证是慢性闭角型青光眼、窄房角、房角后退和新生血管性青光眼。但该手术难度较大,学习曲线较长。

### 3 经非传统途径

Solx 金质分流器 (SOLX gold shunt, SOLX Ltd., Boston, MA) 是 24 K 金质、无阀、平板形眼内植入物,长 5.2 mm,宽 3.2 mm,厚 44 ~ 68 μm,上有多量小管通道,将房水从前房分流至脉络膜上腔,增加房水经葡萄膜巩膜途径的排出(图 15,16)。Solx 金质分流器已通过 CE 认证,目前已在加拿大和欧洲少数国家使用。

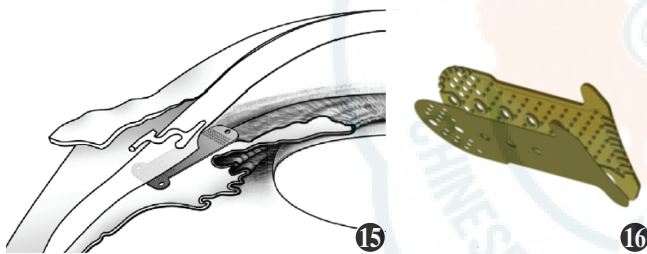


图 15 Solx 植入术模式图 (Brian A. Francis, MD) 图 16 Solx 金质分流器 (SOLX Ltd., Boston, MA)

手术过程为先制作结膜瓣和全层巩膜切口,暴露出睫状体上腔,调整分流器使前端位于前房,后端位于睫状体上腔。不同于传统的房水引流途径,该术式是人为制作可控的睫状体解离术,可以术后经激光调整引流。动物实验显示,Solx 金质分流器植入术能通过抗纤维增生修饰其瘢痕化形成新的房水引流通道<sup>[36]</sup>。

治疗成人难治性青光眼的多中心试验正在进行,目前还没有试验数据公布。但目前有失败的病例报道原因是结缔组织的增生,其可能是由非炎性过程或脉络膜上腔的慢性炎症反应导致<sup>[37]</sup>。

### 4 小结

青光眼手术技术正在以前所未有的速度更新和改进,每种手术都有其适应证和优缺点。MIGS 是一次治疗模式的转变,能很大程度上提高疗效,减少损伤。MIGS 技术的显著优势在于引流原理更符合眼部的生理情况,且无滤过泡形成,因而具有较高的安全性,但其共同的不足之处在于无法将眼压降至巩膜上静脉压(8 ~ 12 mmHg)以下。而小梁切除术是目前唯一可以将眼压降到 10 mmHg 以下的滤过性手术,这也是目前它仍不能被完全取代的原因。对于早中期的青光眼患者,MIGS 技术仍可以达到阻止其视神经进一步损害的目的。MIGS 的远期疗

效仍未得到长期、大规模、精确的临床评估,但就目前的研究来看,青光眼手术的研究已进入微创的新时代。

目前,MIGS 技术要求显微镜配合房角镜直视下操作。随着 MIGS 应用的增加和多样化的发展,对该类型手术效能和便捷性的要求越来越高,比如淡化显微镜的重要性,引进内窥镜或者光线等。此外,瘢痕增生引起植入物隔绝也是 MIGS 需要面对的问题。

以上各种抗青光眼新术式的有其各自的降压原理、适应证和操作特点,降压效果也有所不同。iStent 和 Trabectome 联合白内障超声乳化能使眼压降低 3 ~ 5 mmHg, Cypass 和 Hydrus 联合白内障手术可能会更显著地降低眼压。Canaloplasty 联合白内障手术操作更有挑战性,但如果能成功置线,降眼压幅度可达 10 mmHg。Canaloplasty 偶有滤过泡形成,可能会影响后续滤过性手术。Solx 分流器有很好的前景,尤其是术后可以通过非侵入性的激光穿过角膜和前房来上调房水外流。Solx 比 Trabectome 和 iStent 创伤大,但这几类手术中 Solx 操作最简单。对原发性 POAG 的降眼压效果而言,如果目标眼压设定在  $\geq 16$  mmHg,可考虑选择 iStent、ELT、Gold Shunt 和 Trabectome;如果目标眼压设定在 13 ~ 16 mmHg,可考虑选择 canaloplasty 和 Trabectome;MIGS 较难实现目标眼压  $\leq 13$  mmHg;对于目标眼压更低的晚期青光眼患者,传统的滤过性手术联合抗代谢药物仍然是首选的术式。

随着 MIGS 的远期效果逐渐明朗化,人们需要更多关注并比较各种不同术式的性价比和患者的生活质量。需要考虑的问题包括围手术期护理、患者用药的潜在变化、进一步手术的时机以及对视功能的影响等,这些信息在医师、患者、生产商和政策制定者的交流中发挥着重要的作用。

### 参考文献

- [1] VanVeldhuisen PC, Ederer F, Gaasterland DE, et al. The Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS): the relationship between control of intraocular pressure and visual field deterioration [Z]. Am J Ophthalmol, 2000, 130 (4): 429 - 440. DOI: 10. 1016/S0002-9394 (00)00538-9.
- [2] Huang S, Yu M, Feng G, et al. Histopathological study of trabeculum after excimer laser trabeculectomy ab interno [J]. Yan Ke Xue Bao, 2001, 17 (1): 11 - 15.
- [3] Herdener S, Pache M. Excimer laser trabeculectomy: minimally invasive glaucoma surgery [J]. Ophthalmology, 2007, 104 (8): 730 - 732. DOI: 10. 1007/s00347-007-1598-6.
- [4] Pache M, Wilmsmeyer S, Funk J. Laser surgery for glaucoma; excimer-laser trabeculectomy [J]. Klin Monbl Augenheilkd, 2006, 223 (4): 303 - 307. DOI: 10. 1007/s00347-007-1598-6.
- [5] Toteberg-Harms M, Ciechanowski PP, Hirm C, et al. One-year results after combined cataract surgery and excimer laser trabeculectomy for elevated intraocular pressure [J]. Ophthalmology, 2011, 108 (8): 733 - 738. DOI: 10. 1007/s00347-011-2337-6.
- [6] Babighian S, Rapizzi E, Galan A. Efficacy and safety of ab interno excimer laser trabeculectomy in primary open-angle glaucoma: two years of follow-up [J]. Ophthalmologica, 2006, 220 (5): 285 - 290. DOI: 10. 1159/000094616.
- [7] Babighian S, Caretti L, Tavolato M, et al. Excimer laser trabeculectomy vs

- 180 degrees selective laser trabeculoplasty in primary open-angle glaucoma. A 2-year randomized, controlled trial [ J ]. *Eye ( Lond )*, 2010, 24 ( 4 ) : 632-638. DOI:10. 1038/eye. 2009. 172.
- [ 8 ] Ichhpujani P, Katz LJ, Gille R, et al. Imaging modalities for localization of an iStent ( R ) [ J ]. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*, 2010, 41 ( 6 ) : 660-663. DOI:10. 3928/15428877-20100929-02.
- [ 9 ] Craven ER, Katz LJ, Wells JM, et al. Cataract surgery with trabecular micro-bypass stent implantation in patients with mild-to-moderate open-angle glaucoma and cataract: two-year follow-up [ J ]. *J Cataract Refract Surg*, 2012, 38 ( 8 ) : 1339-1345. DOI:10. 1016/j. jcrs. 2012. 03. 025.
- [ 10 ] Arriola-Villalobos P, Martinez-De-La-Casa JM, Diaz-Valle D, et al. Combined iStent trabecular micro-bypass stent implantation and phacoemulsification for coexistent open-angle glaucoma and cataract: a long-term study [ J ]. *Br J Ophthalmol*, 2012, 96 ( 5 ) : 645-649. DOI: 10. 1136/bjophthalmol-2011-300218.
- [ 11 ] Spiegel D, Wetzel W, Neuhann T, et al. Coexistent primary open-angle glaucoma and cataract: interim analysis of a trabecular micro-bypass stent and concurrent cataract surgery [ J ]. *Eur J Ophthalmol*, 2009, 19 ( 3 ) : 393-399.
- [ 12 ] Buchacra O, Duch S, Milla E, et al. One-year analysis of the iStent trabecular microbypass in secondary glaucoma [ J ]. *Clin Ophthalmol*, 2011, 5 : 321-326. DOI:10. 2147/OPHT. S15025.
- [ 13 ] Fernandez-Barrientos Y, Garcia-Feijoo J, Martinez-De-La-Casa JM, et al. Fluorophotometric study of the effect of the glaukos trabecular microbypass stent on aqueous humor dynamics [ J ]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010, 51 ( 7 ) : 3327-3332. DOI:10. 1167/iovs. 09-3972.
- [ 14 ] Iordanous Y, Kent JS, Hutnik CM, et al. Projected cost comparison of Trabectome, iStent, and endoscopic cyclophotocoagulation versus glaucoma medication in the ontario health insurance plan [ J ]. *J Glaucoma*, 2014, 23 ( 2 ) : 112-118. DOI:10. 1097/IJG. 0b013e31829d9bc7.
- [ 15 ] Minckler D, Baerveldt G, Ramirez MA, et al. Clinical results with the Trabectome, a novel surgical device for treatment of open-angle glaucoma [ J ]. *Trans Am Ophthalmol Soc*, 2006, 104 : 40-50.
- [ 16 ] Minckler D, Mosaed S, Dustin L, et al. Trabectome ( trabeculectomy-internal approach ) : additional experience and extended follow-up [ J ]. *Trans Am Ophthalmol Soc*, 2008, 106 : 149-160.
- [ 17 ] Maeda M, Watanabe M, Ichikawa K. Evaluation of trabectome in open-angle glaucoma [ J ]. *J Glaucoma*, 2013, 22 ( 3 ) : 205-208. DOI: 10. 1097/IJG. 0b013e3182311b92.
- [ 18 ] Jordan JF, Neuburger M, Reinhard T. Minimally invasive angle surgery. The Trabectome [ J ]. *Ophthalmology*, 2010, 107 ( 9 ) : 855-860. DOI: 10. 1007/s00347-010-2235-3.
- [ 19 ] Klamann MK, Gonnermann J, Maier AK, et al. Combined clear cornea phacoemulsification in the treatment of pseudoexfoliative glaucoma associated with cataract: significance of trabecular aspiration and ab interno trabeculectomy [ J ]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2013, 251 ( 9 ) : 2195-2199. DOI:10. 1007/s00417-013-2408-2.
- [ 20 ] Jea SY, Mosaed S, Vold SD, et al. Effect of a failed trabectome on subsequent trabeculectomy [ J ]. *J Glaucoma*, 2012, 21 ( 2 ) : 71-75. DOI:10. 1097/IJG. 0b013e31820bcfda.
- [ 21 ] Wang Q, Harasymowycz P. Goniopuncture in the treatment of short-term post-Trabectome intraocular pressure elevation: a retrospective case series study [ J ]. *J Glaucoma*, 2013, 22 ( 8 ) : 17-20. DOI: 10. 1097/IJG. 0b013e3182595042.
- [ 22 ] Hoeh H, Ahmed II, Grisanti S, et al. Early postoperative safety and surgical outcomes after implantation of a suprachoroidal micro-stent for the treatment of open-angle glaucoma concomitant with cataract surgery [ J ]. *J Cataract Refract Surg*, 2013, 39 ( 3 ) : 431-437. DOI:10. 1016/j. jcrs. 2012. 10. 040.
- [ 23 ] Grisanti S, Margolina E, Hoeh H, et al. Supraciliary microstent for open-angle glaucoma: clinical results of a prospective multicenter study [ J ]. *Ophthalmology*, 2014, 111 ( 6 ) : 548-552. DOI:10. 1007/s00347-013-2927-6.
- [ 24 ] Gulati V, Fan S, Hays CL, et al. A novel 8-mm Schlemm's canal scaffold reduces outflow resistance in a human anterior segment perfusion model [ J ]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54 ( 3 ) : 1698-1704. DOI: 10. 1167/iovs. 12-11373.
- [ 25 ] Mastropasqua L, Agnifili L, Salvetat ML, et al. *In vivo* analysis of conjunctiva in canaloplasty for glaucoma [ J ]. *Br J Ophthalmol*, 2012, 96 ( 5 ) : 634-639. DOI:10. 1136/bjophthalmol-2011-301058.
- [ 26 ] Barnebey HS. Canaloplasty with intraoperative low dosage mitomycin C: a retrospective case series [ J ]. *J Glaucoma*, 2013, 22 ( 3 ) : 201-204. DOI:10. 1097/IJG. 0b013e31824083fb.
- [ 27 ] Gesser C, Matthaei M, Meyer-Rusenberg B, et al. Effect of combined cataract surgery and canaloplasty on postoperative intraocular pressure ( IOP ) [ J ]. *Ophthalmology*, 2012, 109 ( 8 ) : 770-776. DOI:10. 1007/s00347-012-2613-0.
- [ 28 ] Lopes-Cardoso I, Esteves F, Amorim M, et al. Circumferential viscocanalostomy with suture tensioning in Schlemm canal ( canaloplasty ) - one year experience [ J ]. *Arch Soc Esp Oftalmol*, 2013, 88 ( 6 ) : 207-215. DOI:10. 1016/j. oftal. 2012. 06. 021.
- [ 29 ] Arthur SN, Cantor LB, Wudunn D, et al. Efficacy, safety, and survival rates of IOP-lowering effect of phacoemulsification alone or combined with canaloplasty in glaucoma patients [ J ]. *J Glaucoma*, 2014, 23 ( 5 ) : 316-320. DOI:10. 1097/IJG. 0b013e3182741ca9.
- [ 30 ] Bruggemann A, Despouy JT, Wegent A, et al. Intra-individual comparison of Canaloplasty versus trabeculectomy with mitomycin C in a single-surgeon series [ J ]. *J Glaucoma*, 2013, 22 ( 7 ) : 577-583. DOI: 10. 1097/IJG. 0b013e318255bb30.
- [ 31 ] Bruggemann A, Muller M. Trabeculectomy versus canaloplasty-utility and cost-effectiveness analysis [ J ]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 2012, 229 ( 11 ) : 1118-1123. DOI:10. 1055/s-0032-1315100.
- [ 32 ] Brusini P, Tosoni C. Canaloplasty after failed trabeculectomy: a possible option [ J ]. *J Glaucoma*, 2014, 23 ( 1 ) : 33-34. DOI:10. 1097/IJG. 000000000000189.
- [ 33 ] Koerber NJ. Canaloplasty in one eye compared with viscocanalostomy in the contralateral eye in patients with bilateral open-angle glaucoma [ J ]. *J Glaucoma*, 2012, 21 ( 2 ) : 129-134. DOI: 10. 1097/IJG. 0b013e31820277c0.
- [ 34 ] Elbably A, Mousa A, Osman EA. Selective laser trabeculoplasty after canaloplasty improves the efficacy of intraocular pressure reduction in eyes with open angle glaucoma [ J ]. *Saudi Med J*, 2013, 34 ( 5 ) : 544-546.
- [ 35 ] Grieshaber MC. Ab externo Schlemm's canal surgery: viscocanalostomy and canaloplasty [ J ]. *Dev Ophthalmol*, 2012, 50 : 109-124. DOI:10. 1159/000334793.
- [ 36 ] Oatts JT, Zhang Z, Tseng H, et al. *In vitro* and *in vivo* comparison of two suprachoroidal shunts [ J ]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54 ( 8 ) : 5416-5423. DOI:10. 1167/iovs. 13-11853.
- [ 37 ] Rekas M, Pawlik B, Grala B, et al. Clinical and morphological evaluation of gold micro shunt after unsuccessful surgical treatment of patients with primary open-angle glaucoma [ J ]. *Eye ( Lond )*, 2013, 27 ( 10 ) : 1214-1217. DOI:10. 1038/eye. 2013. 154.

( 收稿日期:2016-04-11 )

( 本文编辑:尹卫靖 杜娟 )